

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ

**Кафедра вычислительной физики
и моделирования физических процессов**

В.М. БЕРДНИКОВА

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА»**

Казань – 2015

УДК 5
ББК 2

*Принято на заседании кафедры вычислительной физики
Протокол № 8 от 23 сентября 2015 года*

Рецензент:

Кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры вычислительной физики и МФП ИФ КФУ **А.И. Галеев**;
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры информатики и информационных управляющих систем КГЭУ
Н.К. Петрова

Бердникова В.М.

Учебно-методическое пособие по дисциплине «Естественнонаучная картина мира» / В.М. Бердникова. – Казань: Казан. ун-т, 2015. – 92 с.

Настоящее учебно-методическое пособие подготовлено в помощь бакалаврам гуманитарных специальностей очного отделения для подготовки к семинарским занятиям по дисциплине «Естественнонаучная картина мира». Здесь раскрыты основные темы дисциплины, изучение которых позволит студентам приобрести базовый минимум знаний по предмету, который охватывает столь широкий круг вопросов по физике, астрономии, химии, биологии и синергетике.

©Бердникова В.М., 2015
©Казанский университет, 2015

Оглавление

Введение в курс ЕНКМ	4
Этапы развития естествознания	5-15
Пространство и время. Специальная и общая теории относительности	16-26
Микро-, макро-, мегамиры: структура мегамира	27-39
Микро-, макро-, мегамиры: структура микромира	40-48
Основы термодинамики и синергетики	49-55
Основные положения современной космогонии	56-69
Современные космологические представления	70-75
Концепции происхождения жизни на Земле	76-82
Современные представления об эволюции человека	83-90
Библиографический список	91-92

ВВЕДЕНИЕ В КУРС ЕНКМ

Данное пособие призвано познакомить студента с богатствами естественнонаучной картины мира, без которых невозможно формирование целостного мировоззрения образованного человека. Здесь подробно рассмотрены такие темы, как история развития и становление естествознания, современная физическая, астрономическая, биологическая и синергетическая картины мира. Основной упор был сделан на эволюционное естествознание, так как важнейшим направлением развития любой современной науки является проблематика эволюции, которая характерна как для живой, так и для неживой природы. В пособии представлены современные взгляды на происхождение и эволюцию звезд, Солнечной системы, Земли, жизни на Земле и человека. Материал содержит минимум математических записей, так как предназначен для студентов гуманитарных специальностей. Автор надеется, что простота изложения материала и выбор наиболее важных и интересных тем из блока естественнонаучных знаний, сделают это пособие действительно полезным для студента, и оно поможет ему в формировании естественнонаучного мировоззрения и оставит наилучшие впечатления от изучаемой дисциплины «Естественнонаучная картина мира».

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

История развития естествознания берет свое начало с тех далеких времен, когда зарождались первые научные, философские взгляды на мир вокруг человека и его месте в этом мире. Целесообразно разделить историю становления и развития естествознания на пять основных исторических этапов: эпоха античности, средневековье, эпоха возрождения и нового времени, XX век и XXI век.

Естествознание эпохи античности

Считается, что наука зародилась в VI в. до н. э. в Древней Греции в форме натурфилософии или философии природы. В качестве одного из важнейших направлений научных изысканий того времени можно выделить поиски первоначал, лежащих в основе мироздания. Такими исходными первоначалами называли либо «стихии» – воду (Фалес), воздух (Анаксимен), огонь (Гераклит), либо некоторое мифическое первовещество – «апейрон» (Анаксимандр).

На смену подобным представлениям приходит атомистическое учение о природе Левкиппа и Демокрита, суть которого заключается в том, что все тела состоят из мельчайших неделимых частиц, движущихся в пустоте – атомов.

Космологические представления были отражены в учении Аристотеля, который считал, что Земля имеет форму шара, неподвижна и находится в центре Вселенной. Шаровидность Земли Аристотель устанавливает на основе наблюдений круглой тени Земли на диске Луны во время лунных затмений. Весь мир он делит на подлунный и надлунный мир. Подлунный мир Аристотеля состоит из 4 элементов: землю, воду, огонь и воздух. Мир надлунный же состоит из пятого элемента – эфира.

Геоцентрическую космологию Аристотеля впоследствии математически оформил Клавдий Птолемей (90-168 гг. н. э.). Согласно Птолемею в центре Вселенной расположилась неподвижная Земля, а вокруг вращаются Луна, Меркурий, Венера, Солнце, Марс, Юпитер и Сатурн. Снаружи все охватывается неподвижной сферой звезд.

Великим математиком и механиком того времени был Архимед (287-218 гг. до н. э.). Он вывел ряд формул для вычисления площадей поверхностей и объемов, определил значение числа π (отношение длины окружности к диаметру). Архимед также ввел понятие центра тяжести и разработал методы его определения для различных тел, дал математический вывод законов рычага и вывел условия плавания тел.

Архимед стал одним из последних ярких представителей естествознания эпохи античности.

Естествознание эпохи средневековья

Эпоха средневековья ознаменовалась в Европе утратой греко-римского научного наследия и резким снижением темпов развития естествознания и науки в целом. Наука этого времени находилась под давлением церкви, влияние которой распространялась на всю культурную и общественную жизнь общества. В то время, как европейская христианская наука переживала период упадка (вплоть до XII-XIII вв.), наука Востока испытывала уверенный подъем. Благодаря переводу древнегреческих трудов в IX веке, древнегреческая научная мысль получила известность в мусульманском мире, что способствовало развитию арабской математики и астрономии. В истории науки широко известны имена таких арабских ученых, как Мухаммед аль Баттани (850-929 гг.) – составитель астрономических таблиц, Ибн-Юнус (950-1009 гг.) – математик и астроном, занимавшийся тригонометрией и изучении лунных и солнечных затмений, Ибн-аль Хайсам (965-1020 гг.) – ученый, работавший в области оптики, Ибн-Рушд (1126-1198 гг.) – философ и естествоиспытатель, последователь Аристотеля.

В XI в. европейская цивилизация пришла в соприкосновение с богатой арабской цивилизацией. Переводы арабских текстов способствовали преимущественности знаний Востока европейскими народами. Возрождению западной христианской науки в XII веке способствовало возникновение первых университетов (Парижский, Болонский, Оксфордский и др.).

Несмотря на тяжелое для европейской науки время человеческий интерес к познанию окружающего мира не угасал, хоть и жестко контролировался церковью. В это время современные естественные науки еще не сформировались в том виде, в каком мы их наблюдаем сейчас и находились в стадии «преднауки». Важно, что благодаря арабскому миру в мрачную для европейской науки эпоху удалось все же сохранить и укрепить тот фундамент естествознания, что был заложен еще в Древней Греции.

Естествознание эпохи возрождения и Нового времени

Начиная с XVI в. европейская наука начинает увеличивать темпы развития, но характер прогресса науки этого времени существенно отличается от предыдущих эпох. Развитие науки происходит скачкообразно. По мере накопления знаний и назревания новых научных проблем возникают переломные этапы, в ходе которых происходит выход на качественно новый уровень знаний и радикальная смена научной картины мира (научные революции).

Период конца XV-XVI вв. ознаменовался первой научной революцией в истории естествознания, результатом которой стал переход от Средневековья к Новому Времени, что получило название Возрождение. Первым из вершителей этой научной революции стал великий польский астроном Николай Коперник (1473-1543гг.), который в своем труде "Об обращениях небесных сфер" опровергал тот факт, что Земля является центром мироздания. Гелиоцентрическая система мира Коперника была основана на многочисленных астрономических наблюдениях и математических расчетах.

Одним из активных последователей учения Коперника был знаменитый итальянский мыслитель Джордано Бруно (1548-1600). Бруно вообще отрицал наличие у Вселенной центра и говорил о ее бесконечности и существовании множества планет, подобных Земле.

Современная наука была заложена в XVII веке и ее основоположниками стали такие великие ученые как Г. Галилей, И. Кеплер, И. Ньютон. В учении Галилео Галилея (1564-1642) были сформулированы основы нового механического

учения. Галилей добился успехов в изучении явления инерции и свободного падения тел, а также доказал весомость воздуха. Галилей внес неоценимый вклад в развитие астрономии, построив телескоп, Галилей с его помощью установил, тот факт, что Солнце вращается вокруг своей оси и на его поверхности есть пятна. Ему удалось также обнаружить 4 спутника Юпитера: Ио, Европа, Ганимед и Каллисто, гористую поверхность Луны и то, что Млечный Путь на самом деле состоит из множества звезд.

Исследования Галилея высоко оценил один из крупнейших математиков и астрономов того времени Иоганн Кеплер (1571-1630). Сам он стал основателем небесной механики, сформулировав три закона движения планет относительно Солнца.

Вторую научную революцию связывают с трудами одного из величайших ученых в истории человечества Исаака Ньютона (1643-1727). Ньютон заложил основы механистического естествознания, сформулировав три закона движения и закон всемирного тяготения. Механистическое учение Ньютона господствовало в ученом мире на протяжении двух следующих столетий и сегодня является незаменимым при описании процессов, происходящих в макром мире. В своем учении Ньютон показал, что наблюдение, измерение и эксперимент являются главными методами в изучении природы.

Наибольший вклад в развитие химии того времени внесли такие ученые, как немецкий химик Фридрих Велер (1800-1882), русские химики Менделеев Д.И. (1834-1907) и Бутлеров А.М. (1828-1886). Велер заложил основы синтеза органических соединений из исходных неорганических. Менделеев открыл периодический закон химических элементов, который устанавливает зависимость свойств элементов от их атомных весов. Бутлеров создал теорию химического строения органических соединений.

В области биологии следует отметить труды известного шведского ученого–натуралиста Карла Линнея (1707-1778), который провел классификацию живой природы, разделив ее на классы, отряды, рода, виды и вариации.

В первой половине XIX века французский естествоиспытатель Жан-Батист Ламарк (1744-1829) явил миру свое прорывное эволюционное учение. В работе «Философия зоологии» (1809) Ламарк писал о всеобщей эволюции органического мира. Однако взгляды Ламарка не были поддержаны научным сообществом, т.к. он не смог правильно установить движущие факторы эволюции.

Механизм эволюции был раскрыт позже Чарльзом Робертом Дарвином (1809-1882). Основой эволюционного учения Дарвина является теория естественного отбора. Дарвинизм и по сей день в дополненном виде является основой современной теории эволюции.

Третья научная революция привела к диалектизации естествознания и постепенному очищению науки от натурфилософских понятий и представлений.

Естествознание XX века

Последние годы XIX столетия и первые десятилетия XX века стали знаменательными для науки, т.к. были отмечены серией грандиозных научных открытий.

В 1896 г. французский физик Антуан Анри Беккерель (1852-1908) в своих научных исследованиях столкнулся с неизвестным до этого явлением радиоактивности. Беккерель наблюдал это явление в виде самопроизвольного излучения урановой соли. Позже французские физики супруги Пьер Кюри (1859-1906) и Мария Складовская-Кюри (1867-1934) обнаружили подобные свойства ещё у двух открытых ими элементов – полоний и радий.

Английский физик Джозеф Джон Томсон (1856-1940) в 1898 г. обнаружил первую элементарную частицу – электрон.

В 1905 г. мало кому известный тогда ученый Альберт Эйнштейн (1879-1955) создал специальную теорию относительности. В этом же году Эйнштейн обосновал природу фотоэффекта, за что был награжден Нобелевской премией. В 1916 году он представил миру общую теорию относительности.

В 1924 г. французским ученым Луи де Бройлем (1892-1981) была сформулирована гипотеза о волновых свойствах микрочастиц, которую

подтвердили в 1927 г. американские физики Клинтон Дэвиссон (1881-1958) и Лестер Джермер (1896-1971). Они экспериментально обнаружили волновые свойства частиц, наблюдая дифракцию электронов. Таким образом, был принят корпускулярно-волновой дуализм, как всеобщее свойство материи.

Стремительное развитие естествознания и техники в первой половине XX в. получило название научно-технической революции (НТР). Наука XX века меняет не только научную картину мира и сферу производства, но и человеческий быт. Продукты научно-технического прогресса, такие как радио, телевидение, компьютеры становятся атрибутами повседневной жизни, также как одежда из синтетических тканей, стиральные порошки, различные лекарства и т.д.

В области физики ведущими направления становятся: микрофизика, макрофизика и астрофизика. После открытия электрона ученым удастся приоткрыть завесу микромира. В 1932 г. Дж. Чедвиком был открыт нейтрон. В том же году К. Андерсон открыл – позитрон, а Х. Юкава в 1935г. – промежуточную частицу мезон.

Открытие спектроскопии в XIX в. сделало возможным изучение внутренней структуры небесных тел на основе исследования излучаемого ими света. Благодаря чему XX в. отмечен грандиозными успехами в изучении космоса.

В этот период развитие электроники вышло на новый качественный уровень, появилась новая отрасль научного знания – кибернетика. В 1895 г. русский инженер А.С. Попов изобрел радио. Переломным моментом в развитии средств связи стало создание электронной лампы, которая впоследствии стала широко применяться в радиоаппаратуре и первых ЭВМ. Первая электронно-вычислительная машина была создана в 1945 г. в Пенсильванском университете под руководством Дж. Маучли. Позже в 1976 г. был создан персональный компьютер. В последние 20 лет прошлого столетия компьютеростроение стало, пожалуй, одной из самых быстроразвивающихся отраслей в науке и технике.

В области химии следует выделить развитие химии полимеров. Среди главных достижений: получение каучука (С.В. Лебедев, 1910г.), «нейлона» (У. Карозерс, 1936г.) и тефлона (Р. Плакет, 1938г.).

Невероятные открытия были совершены в области органической химии. В 1963 г. В. Виньо синтезировал инсулин. В 1976 г. Х. Корана осуществил первый в истории человечества синтез активного гена.

XX век ознаменовался чередой не менее великих открытий и в области биологии. В 1900 г. Г. Мендель сформулировал законы наследственности. В 1909 г. В.Л. Иогансон ввел понятие «ген» как единица наследственного материала. В начале XX века была сформулирована хромосомная теория наследственности. Основной вклад в ее создание внесли американский цитолог У. Сеттон, немецкий эмбриолог Т. Бовери и американский генетик Т. Морган. Вершиной достижения в области генетики стала расшифровка молекула ДНК Ф. Криком и Д. Уотсоном в 1953 г. В 1954 г. Г.А. Гамов сформулировал научные представления о генетическом коде. В 1961-1966 гг. генетический код был расшифрован в прямом эксперименте. А в 1981 г. благодаря техническому прогрессу процесс выделения генов и получения из них различных цепей стал автоматизированным. Таким образом были заложены основы новой науки названной «геномикой».

Естествознание XXI века

Выше мы рассмотрели XX век и его открытия, в корне изменившие наш мир, однако даже сейчас человечество в плане развития технологий и прогресса видит лишь верхушку айсберга. Это, несмотря на то, что в нашем столетии знания человечества удваиваются каждые 5-7 лет!

Среди значимых научных открытий первую позицию, пожалуй, занимает открытие учеными бозона Хиггса. По сути, открытие этой частицы объясняет причину возникновения массы у других элементарных частиц. Еще в 1964 году Питер Хиггс, в честь которого названа частица, предсказывал ее существование, однако практически доказать это не было возможности. И только 26 апреля 2011 года появилась новость о том, что с помощью Большого адронного коллайдера, находящегося рядом с Женевой, ученым, наконец, удалось обнаружить искомую и ставшую чуть ли не легендарной частицу. Однако ученые не сразу подтвердили свое открытие. Лишь в марте 2013 года сотрудники ЦЕРН сделали официальное

заявление о том, что обнаруженная частица действительно является бозоном Хиггса.

Вторую позицию среди самых интересных, перспективных и амбициозных проектов человечества в XXI веке занимает расшифровка генома человека. Проект «Геном человека» не зря имеет славу самого важного проекта в сфере биологических исследований, работа над ним началась еще в 1990 году, хотя стоит упомянуть о том, что данный вопрос рассматривался и в 80-ых годах XX века, а завершилось в 2006 году. Результатом проекта стало определение последовательности более трех миллиардов нуклеотидов, составляющих ДНК, а также более 20 тысяч генов в геноме человека.

В списке важных открытий далее стоит упомянуть открытие воды на Марсе. Марс, пожалуй, самая обсуждаемая планета Солнечной системы, т.к. из всех планет она наиболее привлекательна для освоения в будущем. Долгое время наличие воды было всего лишь предположением. Современные наблюдения красной планеты показывают, что реки и океаны когда-то составляли значительную часть ландшафта. Но Марс меньше и легче Земли, его гравитационное притяжение слабее, поэтому с течением времени испаряющаяся вода постепенно улетала в космос, и все меньше возвращалось на поверхность. По мере потери атмосферы планета остывала. Вся оставшаяся вода к моменту падения температуры ниже температуры замерзания должна была кристаллизоваться, будучи очень соленой и смешанной с разными минералами.

Богатые запасы воды были обнаружены в полярных шапках на обоих полюсах планеты. Каждое лето по мере роста температур эти шапки немного уменьшаются из-за таяния и последующего испарения воды. Однако зимой шапки опять нарастают, достигая широт в 45 градусов – половина пути до экватора. Средняя толщина полярных шапок – 3 километра. Помимо водяного льда в их состав входит также замерший углекислый газ. Предполагается также, что значительное количество воды может быть заморожено под поверхностью Марса.

Большое количество информации о составе поверхности предоставили спускаемые аппараты. Марсоходы «Spirit» и «Opportunity», запущенные в 2004 году

нашли воду в исследованных ими минералах. А когда сломанное колесо «Opportunity» прорыло часть грунта, там был обнаружен кварц, который образуется практически только в присутствии воды. В 2008 году специальный эксперимент на посадочном модуле «Феникс» позволил обнаружить небольшие кусочки водяного льда в полярной зоне. Севший на планету в 2012 году аппарат «Curiosity» стал двенадцатым за всю историю аппаратом, достигшим поверхности Марса. Исследуя грунт на глубине до 1м, аппарат установил содержание воды в его составе от 1 до 4 процентов. Помимо этого им были обнаружены простейшие органические соединения, а также измерен уровень радиации на поверхности Марса, который, как оказалось, в несколько раз превосходит радиационный фон Земли.

Следующим в списке важных достижений современной науки следует выделить результаты исследований в области нанотехнологий, в частности, получение нового материала – графена. Графен является первым доступным 2-D атомным «кристаллом», т.е. это по сути одна плоскость графита, отделенная от объемного кристалла или гексоганальная двумерная кристаллическая решетка. Графен сочетает в себе уникальные свойства: высокие механическую прочность, электро- и теплопроводность, непроницаемость для газов, прозрачность и многие др., которые делают его привлекательным материалом для многих приложений. Впервые он был получен в 2004 году российскими учеными А. Геймом и К. Новоселовым, которые за свое открытие были удостоены в 2010 Нобелевской премии. Но, несмотря на явные преимущества нового материала по сравнению со всеми полученными ранее, предсказанные масштабы применения графена пока в полной мере не реализуется. К сожалению, не решена проблема перехода от «ручного» изготовления в научно-исследовательских лабораториях к промышленному производству без потери качества материала.

И напоследок, хотелось бы отметить новую область изучения в астрономии – поиск экзопланет, т.е. планет, которые вращаются вокруг других звезд. Идеи о существовании во Вселенной множества планетных систем, подобных Солнечной системе, возникали еще в Древней Греции. Но всерьез поиском планет у других звезд астрономы занялись только в конце XX века. Первые экзопланеты были

обнаружены в системе, в центре которой вместо обычной звезды находится нейтронная звезда (пульсар). Произошло это в 1991 году, когда американский астроном Александр Вольжан, анализируя несколько месяцев измерения периодичности пульсара PSR1257+12 на радиотелескопе в Аресибо, пришел к выводу, что он окружен как минимум тремя планетами с массами в несколько масс Земли, и большими полуосями до 1 астрономической единицы (среднее расстояние от Земли до Солнца). Как выяснилось потом, планеты вокруг пульсаров - это весьма редкое явление. Все сомнения о существовании экзопланет отпали после открытия швейцарскими астрономами Мишелем Майором и Дидье Келосом первой планеты у звезды, похожей на Солнце – 51 Пегаса.

В начале XXI века астрономы стали активно использовать методы спектроскопии для поиска экзопланет, возможности независимого подтверждения планеты, если она проходит между звездой и наблюдателем, путем точного измерения яркости звезды. Первыми открытыми таким образом планеты были газовые гиганты массивнее Юпитера, вращающиеся вокруг нормальных звезд, подобных Солнцу. По мере того как повышалась точность измерений с появлением новых более совершенных спектрографов появлялась возможность открывать планеты все более близкие по своим характеристикам к Земле. А в марте 2009 года был запущен космический аппарат «Кеплер» – астрономический спутник НАСА (вращающийся по гелиоцентрической орбите), оснащенный сверхчувствительным фотометром, специально предназначенный для поиска экзопланет, подобных Земле. На июнь 2015 года достоверно подтверждено существование 1931 экзопланеты в 1222 планетных системах, из которых в 484 имеется более одной планеты. Следует отметить, что количество надежных кандидатов в экзопланеты значительно больше. Так, по проекту «Кеплер» на январь 2015 года числилось еще 4175 надежных кандидатов, однако для получения ими статуса подтвержденных планет требуется их повторная регистрация с помощью наземных телескопов. Согласно предварительным оценкам ученых количество экзопланет в нашей галактике не менее 100 миллиардов, из них ~ от 5 до 20 миллиардов, возможно, относятся к классу «землеподобных».

Выбор самых важных открытий и научных направлений XXI века субъективен, каждый из вас самостоятельно может его сделать. Тем более выбирать есть из чего, ведь наука сегодня развивается в геометрической прогрессии, а естествознание задает темп развития.

Вопросы и задания для контроля знаний по теме:

1. Назовите характерные черты античного естествознания. Можно ли утверждать, что все естественные науки образовались в это время? Ответ обоснуйте.
2. Опишите в целом характер развития естествознания в средние века. Верно ли то, что в этот период естествознание претерпевало полный упадок? Ответ обоснуйте.
3. Каковы особенности развития естествознания эпохи возрождения и нового времени? Стал ли этот период "эпохой возрождения в естествознании"? Ответ обоснуйте.
4. Коротко охарактеризуйте развитие естествознания в XX веке. Верно ли утверждение о том, что за XX век было сделано больше значимых открытий, чем за какой либо предшествующий период? Ответ обоснуйте.
5. Какие на ваш взгляд самые важные открытия были сделаны в начавшемся XXI веке? Как вы думаете, какие научные направления будут актуальны в будущем?
6. Перечислите и раскройте суть научных революций в истории естествознания.

ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ. СПЕЦИАЛЬНАЯ И ОБЩАЯ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Эволюция представлений о пространстве и времени

Время и пространство – это формы существования и движения материи. Время выражает собой порядок смены физических состояний объектов материального мира, поэтому время универсально и не зависит от нас и от того как мы его ощущаем. Время можно измерить с помощью часов. Эталон точности измерения времени на сегодняшний день составляет 10^{-11} с.

Пространство выражает порядок сосуществования материальных тел, которые занимают определенный объем в пространстве и движутся относительно друг друга. Аристотель определял пространство как категорию места, а время как категорию движения.

В классической ньютоновской механике было введено понятие истинного (абсолютного) времени, или математического времени. Это время, которое течет равномерно и никак не зависит от материальных процессов. Но также И. Ньютон выделял относительное время (не путать с относительностью времени по Эйнштейну!). Это время, пропущенное через наши органы чувств, т.е. определенные промежутки времени, длительность которых мы способны ощутить и распознать – секунда, минута, час, сутки и т.д. Точно также он разделял понятия истинного (абсолютного) пространства, не от чего независящего, и относительного пространства, которое является результатом нашего ощущения собственного расположения в пространстве относительно других тел. Относительное пространство Ньютона тоже не имеет никакого отношения к относительности пространства по Эйнштейну, выражается в пространственных мерах – миллиметр, сантиметр, метр, километр и т.д.

Согласно же современной теории относительности А. Эйнштейна пространство и время относительны. Время, как доказал Эйнштейн, замедляется при скоростях, близких к скорости света (релятивистское замедление времени). Также существует и гравитационное замедление времени: время замедляется при

приближении к массивным телам (внутри черной дыры время останавливается). Пространственные характеристики, как оказалось, также зависят от материи. Согласно общей теории относительности вблизи массивных тел пространство искривляется.

В классической механике пространство, время и материя существуют отдельно друг от друга, т.е. никак не связаны (субстанциональная концепция пространства и времени).

По современным представлениям время и пространство существуют только в единой взаимосвязи друг с другом и материей (релятивистская концепция пространства и времени).

Специальная теория относительности (СТО)

СТО была сформулирована Эйнштейном в 1905 г., математический аппарат теории был создан Х.А. Лоренцом и А. Пуанкаре.

Основу СТО составляют два постулата (принципа) Эйнштейна:

1. Принцип относительности (первый постулат Эйнштейна, являющийся обобщением принципа Галилея на все физические процессы): *все физические процессы во всех инерциальных системах отсчета протекают одинаково*. Всякая система отсчета, покоящаяся или движущаяся равномерно и прямолинейно относительно инерциальной системы отсчета, также является инерциальной (т.е. все инерциальные системы отсчета равноправны).

2. Принцип инвариантности (постоянства) скорости света (второй постулат Эйнштейна): *скорость света в вакууме постоянна во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от движения источников и приемников света*. Принцип постоянства скорости света был впервые подтвержден в опытах Майкельсона-Морли. Сами авторы этим опытом пытались подтвердить гипотезу светового мирового эфира, ярыми сторонниками которой они были. Но в результате, они опровергли

возможность его существования и обнаружили инвариантность скорости света.

Релятивистские эффекты СТО. Это эффекты, которые связаны с изменением характеристик пространства и времени для движущегося тела относительно состояния покоя. Степень проявления этих эффектов зависит от величины скорости, чем она выше, тем заметнее проявление предсказаний СТО. Такие эффекты максимально проявляются при скоростях близких к скорости света и потому объясняют невозможность достижения скорости света каким либо телом, имеющим массу. В тоже время при скоростях малых они весьма незначительны и могут быть сведены к нулю. К основным релятивистским эффектам относятся:

1. Замедление времени

В движущейся системе время течет медленнее по сравнению с неподвижной системой. Если бы тело двигалось со скоростью света, то время для него бы остановилось.

$$\Delta t_0 = t_{02} - t_{01} = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Δt_0 – промежуток времени покоящегося тела, v – скорость движения тела,

c – скорость света в вакууме, равная округленно 300000 км/с.

Промежуток времени движущегося тела:

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

2. Сокращение длины

Линейные размеры движущегося тела уменьшаются, по сравнению с его размерами в состоянии покоя. Если бы тело могло бы двигаться со скоростью света, то оно должно было бы иметь нулевой размер, т.е. исчезнуть для наблюдателя.

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Здесь l – линейный размер движущегося тела, l_0 – тоже для состояния покоя.

3. Увеличение инертной массы

Движущееся тело имеет большую инертную массу по сравнению с состоянием покоя.

Ни одно материальное тело, имея массу покоя, не может достичь скорости света, так как его масса в этом случае должна была бы стать бесконечной.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Здесь m – масса тела в состоянии покоя, а m_0 – масса тела при движении.

4. Эквивалентность энергии и массы.

Это физическая концепция теории относительности, согласно которой полная энергия физического объекта (физической системы, тела) равна его (ее) массе, умноженной на размерный множитель квадрата скорости света в вакууме:

$$E = mc^2, \text{ где } m \text{ – масса движущегося тела, } c \text{ – скорость света в вакууме.}$$

Из закона взаимосвязи массы и энергии следует, что если покоящемуся телу сообщить некоторую энергию, то его масса изменится. Однако в обычных макроскопических процессах, с которыми мы имеем дело в жизни и технике, изменения массы, обусловленные изменением энергии тел, чрезвычайно малы.

5. Сохранение причинно-следственной связи между событиями.

Последовательность происходящих событий не зависит от того в какой из инерциальных систем они происходят и в какой из них находится наблюдатель, неодновременные события происходят в строгом порядке.

6. *Относительность одновременности двух событий.* Если два разнесенных в пространстве события (например, вспышки света) происходят одновременно в движущейся системе отсчета, то они будут не одновременны относительно «неподвижной» системы, так как скорость света – предельная скорость.

Общая теория относительности (ОТО)

ОТО впервые была опубликована Эйнштейном в 1915 году. ОТО это теория гравитации или полевая теория тяготения. ОТО распространяется как на инерциальные, так и на неинерциальные системы отсчета.

Согласно ОТО в сильном гравитационном поле происходит искривление пространственно-временного континуума. И степень проявления этого эффекта прямо зависит от массы гравитирующего тела.

Основной постулат ОТО. Принцип эквивалентности сил гравитации и инерции – эвристический принцип, использованный Эйнштейном при выводе общей теории относительности. Один из вариантов его изложения: «Силы гравитационного взаимодействия пропорциональны гравитационной массе тела, силы инерции же пропорциональны инертной массе тела. Если инертная и гравитационная массы равны, то невозможно отличить, какая сила действует на данное достаточно малое тело – гравитационная или сила инерции».

Этот принцип Эйнштейн объяснял на мысленном эксперименте с человеком в лифте. Достаточно привести для сравнения две ситуации. В первой человек в покоящемся лифте на Земле. Он выпускает из руки мяч, который, как известно, будет падать с ускорением свободного падения, равным на Земле примерно $9,8 \text{ м/с}^2$. Это является проявлением действия поля тяготения Земли. Во втором случае, нужно представить, что лифт, в котором находится человек, ускоряется в космосе в невесомости с ускорением равным ускорению свободного падения на Земле. Движение происходит условно вверх, если за верх считать потолок лифта (в космосе в невесомости нет ни верха, ни низа). В этом случае отпущенный человеком мяч также будет падать, как и на Земле, с тем же ускорением. Но это уже не будет проявлением сил тяготения Земли, а произойдет под действием сил

инерции ускоряющегося лифта. Таким образом, для человека в лифте будут действительно неразличимы действия силы гравитационной и силы инерции, как это постулируется в принципе эквивалентности Эйнштейна. На рис. 1 слева лифт движется с ускорением $9,8 \text{ м/с}^2$ вне поля тяготения Земли, справа лифт покоится на Земле.

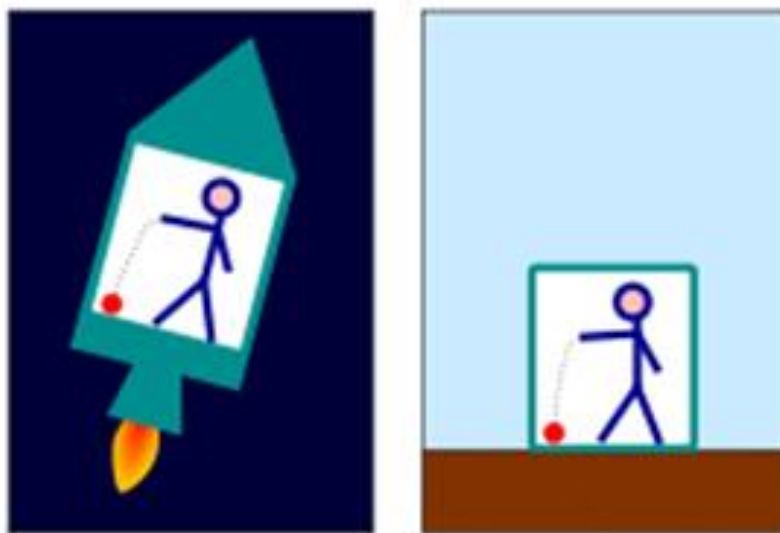


Рис. 1. Иллюстрация к мысленному эксперименту Эйнштейна

Экспериментальные доказательства Общей теории относительности

1. Отклонение луча в поле тяготения Солнца:

Первая экспериментальная проверка этого эффекта была проведена Артуром Эддингтоном во время солнечного затмения 1919 года. В ходе этого наблюдения он обнаружил, что свет от звезды искривляется вблизи Солнца в точном соответствии с предсказаниями ОТО.

На сегодняшний день экспериментально получен угол отклонения луча от Солнца α с точностью около 0,3 % (данные 1984 г.), полностью соответствующий предсказанному теорией относительности значению угла.

2. Изменение частоты электромагнитной волны в поле тяготения:

Один из эффектов ОТО – гравитационное замедление времени, из-за которого происходит уменьшение частоты (увеличение длины волны) света при его

распространении из области с меньшим гравитационным потенциалом в область с большим потенциалом. Так как при этом происходит смещение линий спектра к красному концу спектра, то эффект этот принято называть гравитационным красным смещением света. Гравитационное красное смещение было обнаружено в спектрах различных звезд и Солнца и экспериментально подтверждено в контролируемых земных условиях.

Точность измерения красного смещения на сегодняшний день доведена до 0,02 % от предсказываемой теорией величины (1980 год).

3. Смещение перигелия орбиты Меркурия

ОТО предсказывает, что перигелии (это ближайшая к Солнцу точка орбиты планеты) всех планетных орбит должны прецессировать, т.к. согласно расчетам Эйнштейна к гравитационному потенциалу Ньютона добавляется некоторая релятивистская поправка, которая приводит к формированию незамкнутых орбит. Это предсказание Эйнштейна стало самым первым экспериментальным подтверждением состоятельности ОТО. Величина прецессии, полученная Эйнштейном в 1916 году в рамках его теории относительности, полностью совпала с наблюдаемой прецессией перигелия Меркурия, которая не совпадала со значением полученным Ньютоном и считалась аномальной.

Так как Меркурий больше всех планет подвержен гравитационному воздействию Солнца из-за близости к нему, то и подобный эффект у него наблюдать было проще всего. С развитием техники удалось пронаблюдать релятивистскую прецессию перигелия Венеры, Земли и астероида Икар. Позже выяснилось, что релятивистский эффект прецессии перигелия сильно выражен в системах двойных пульсаров.

4. Запаздывание сигнала в поле тяготения Солнца

Этот эффект носит название – эффект Шапиро и заключается в задержке сигнала при прохождении вблизи гравитирующего тела. Эффект экспериментально подтвержден с помощью радиолокации планет Меркурий и Венера во время их прохождения за диском Солнца. Измеренное время прохождения сигнала до планеты и обратно, оказывается всегда больше, чем вычисленное без учета

гравитационного воздействия. Эта задержка измерена экспериментально с точностью до 0,1 % и точно соответствует теории относительности.

5. Гравитационное линзирование

Так как лучи света согласно ОТО искривляются в поле тяготения любого достаточно массивного тела, то это значит, что подобные тела могут играть роль линзы. На рисунке 2 слева в точке O находится наблюдатель, а в точке A – источник света (галактика, например). Если при этом как показано на рисунке 2 в точке C будет находиться массивное космическое тело (например, туманность или тоже галактика), то из-за искривления хода луча, мы будем наблюдать удаленный источник света в точке B , т.е. изображение будет искажено. Подобный эффект известен как гравитационное линзирование. Он наблюдается только при массе гравитационной линзы порядка 10^{12} масс Солнца и больше. Конечно, гравитационная линза сильно отличается от оптической. Поэтому если бы удаленный объект, линза и наблюдатель находились бы строго на одной линии, то изображением объекта стало бы кольцо, которое принято называть кольцом Эйнштейна (на рисунке 2 оно выделено справа пунктиром).

Правда вероятность подобного совпадения мала, точечный источник при этих же условиях будет виден как две дуги внутри и снаружи относительно кольца Эйнштейна (на рисунке 2 справа). В 1979 впервые наблюдали этот эффект. Вместо одной далекой туманности наблюдалось две туманности с абсолютно одинаковым спектром излучения.

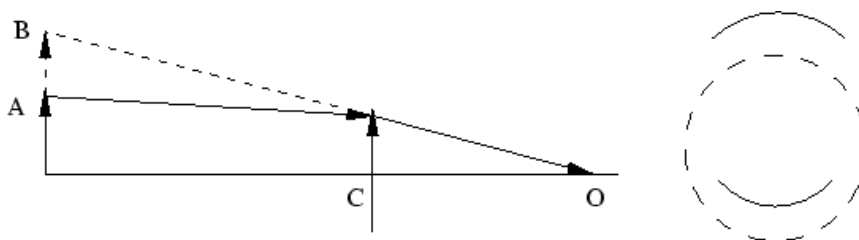


Рис. 2. Гравитационное линзирование

Подобный эффект, только меньшего масштаба используется для обнаружения одиночных экзопланет и коричневых карликов. Эти слабосветящиеся объекты как раз могут быть обнаружены по гравитационному действию, они при

этом также играют роль гравитационной линзы. Но эффект при такой малой массе гравитационной линзы называется гравитационным микролинзированием.

Черные дыры

Эйнштейн в своей теории также предположил существование черных дыр.

Черная дыра – это область в пространстве-времени, гравитационное притяжение которой настолько велико, что покинуть ее не могут даже кванты света. Границу, после преодоления которой, ничто не может покинуть черную дыру, называют горизонтом событий.

Для каждого тела сферической формы существует свой определенный радиус, при сжатии до которого сила тяготения стремилась бы к бесконечности и по достижению которого тело бы самопроизвольно «схлопнулось» в черную дыру. Такой радиус в теории был назван гравитационным радиусом или радиусом Шварцшильда. А подобное резкое сжатие после достижения телом критического радиуса называется гравитационным коллапсом.

Критический радиус Шварцшильда для сферического тела:

$$R_{sp} = \frac{2GM}{c^2}$$

Здесь G – гравитационная постоянная, M – масса тела, c – скорость света в вакууме.

Чем больше масса тела, тем больше гравитационный радиус. Но даже для космических тел он очень мал: для Земли это всего 1 см, а для Солнца – 3 км.

На сегодняшний день существование черных дыр ни у кого не вызывает сомнений. Но, к сожалению, до сих пор неясна природа черной дыры. Единственное, что можно определить для черной дыры, это ее размеры, массу и вращательный момент, если она вращается. Первые подобные объекты были обнаружены в 70-х годах прошлого столетия. Сейчас уже выделяют четыре сценария образования черных дыр, два из которых подтверждены наблюдениями, другие же лишь гипотетически предсказаны.

1. Реликтовые черные дыры (гипотетические). Первичные черные дыры, которые образовались при сжатии первородного газа, которым была заполнена вселенная на ранних этапах формирования из-за небольших колебаний его плотности.
2. Сверхмассивные черные дыры в центрах галактик. Образуются в результате коллапса центральной части галактики или протогалактического газа. Такие черные дыры обнаружены практически во всех наблюдаемых ныне галактиках. Известно, что в центре галактики Млечный путь также находится черная дыра Стрелец A*, масса которой составляет $4,31 \times 10^6$ солнечных масс. Самые массивные из найденных черных дыр в центрах галактик достигают массы более чем 10 млрд. солнечных масс.
3. Черные дыры звездной массы. Наиболее распространенный, самый часто реализуемый сценарий образования черной дыры. Заключается в гравитационном коллапсе массивных звезд (массой более 3 масс Солнца) на заключительном этапе эволюции. Предсказывается наличие миллиардов подобных объектов в нашей Галактике.
4. Квантовые черные дыры (гипотетические). Происхождение подобных черных дыр считается возможным при ядерных реакциях высоких энергий. Существует ограничение на размеры и массу такой дыры. Минимальная черная дыра – планковская черная дыра. Ее масса – порядка 10^{-5} г, радиус – 10^{-35} м. Время существования таких объектов крайне мало, потому их непосредственное обнаружение очень проблематично. К тому же для синтеза такой черной дыры в ускорителе предположительно необходима энергия не менее 10^{26} эВ, современные ускорители не позволяют получить такую энергию. Эксперименты по протон-протонным столкновениям с полной энергией 7 ТэВ, проводимые на самом мощном на сегодняшний день ускорителе – Большом адронном коллайдере показали, что этой энергии явно недостаточно для образования микроскопических черных дыр.

Вопросы и задания для контроля знаний по теме:

1. Раскройте основные отличительные черты субстанциональной и релятивистской концепций пространства и времени. Какая из них является более современной и научно достоверной?
2. Назовите предмет изучения Специальной теории относительности. Раскройте постулаты СТО.
3. Какие релятивистские эффекты предсказывает СТО для движущихся тел? Согласно СТО может ли тело, имеющее ненулевую массу покоя двигаться со скоростью равной или выше скорости света в вакууме? Ответ обоснуйте.
4. Что изучает Общая теория относительности? Раскройте постулат теории об эквивалентности инертной и гравитационной массы.
5. Какие существуют экспериментальные доказательства предсказаний ОТО?
6. Что такое черная дыра? Каковы возможные механизмы образования черных дыр?

МИКРО-, МАКРО-, МЕГАМИРЫ: СТРУКТУРА МЕГАМИРА

Критерии деления на микромир, макромир и мегамир

Микромир – это мир предельно малых, непосредственно ненаблюдаемых микрообъектов (молекулы, атомы, элементарные частицы), пространственная размерность которых исчисляется от 10^{-8} до 10^{-16} см, а время жизни – от бесконечности до 10^{-24} с.

Макромир составляют объекты, размерные и временные характеристики которых соизмеримы с человеческим опытом. Человек и сам является частью макромира.

Мегамир – это мир космических объектов, пространственные размеры в нем настолько велики, что требуют введения особых единиц измерения. Временные характеристики оцениваются миллионами и миллиардами лет.

Единицы измерения расстояний в мегамире

Астрономическая единица (а .е.) – равна среднему расстоянию от земной поверхности до Солнца. Другими словами, 1 а.е. соответствует длине большой полуоси орбиты нашей Земли (150 млн. км). Так, кратчайшее расстояние до Плутона равно 28 а.е. Используется для обозначения расстояний в пределах Солнечной системы.

Световой год (св. год). Хотя здесь и присутствует слово «год», не стоит думать, что временная характеристика, это также единица расстояния. Один световой год составляет $9,4663 \times 10^{13}$ км или 240 а. е. Это путь, который проделывает луч света в течение 1 земного года. В основном, используется для оценки расстояний до ближайших звезд.

Парсек (пк). Он равен смещению звезды на фоне прочих небесных тел на 1" при смещении наблюдателя на 1 радиус орбиты Земли. Или иначе, это такое расстояние, с которого средний радиус земной орбиты перпендикулярный лучу зрения виден под углом 1 градус (рисунок 3). От Солнца до ближайшей звезды (это Проксима Центавра в системе Альфа Центавра) 1,3 парсека. Один парсек равен

3,2612 св. лет или $3,08567758 \times 10^{13}$ км. Таким образом, световой год чуть меньше третьей части парсека. Парсек наиболее часто употребляемая в профессиональной астрономической литературе единица измерения расстояний за пределами Солнечной системы.

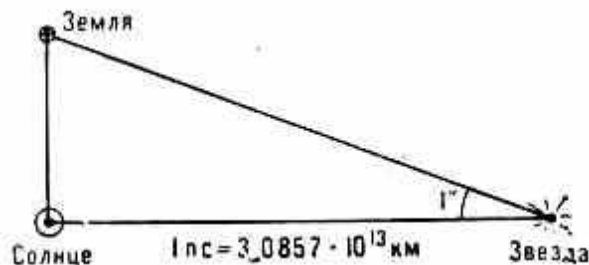


Рис. 3. Иллюстрация к определению парсека

Структурные объекты мегамира

Космос богат объектами разной природы, которые принято называть космические тела. Есть в космосе и объекты малых размеров, космическая пыль, метеороиды. Есть гигантские образования, такие как сверхскопления галактик. Рассмотрим все многообразие космических тел и их систем.

Звезда – это горячий газовый шар, разогреваемый за счет ядерной энергии и удерживаемый силами тяготения. Но это определение описывает звезду только в период ее «нормальной» жизни, не захватывая период протозвезды на начальном этапе ее образования (когда термоядерный синтез еще не начался) и конечную стадию эволюции звезды (когда термоядерные реакции уже не происходят). Существует более широкое определение для звезды: космическое тело, в центре которого естественным образом происходили, происходят или будут происходить термоядерные реакции. Солнце – типичная звезда, но не все звезды, похожи на него, в разделе «Космогония» мы познакомимся с основными звездными характеристиками. На рис. 4 в сравнении с Солнцем изображена звезда R136A1, которая находится в соседней галактике Большое Магелланово Облако. Ее масса составляет 265 солнечных масс и на сегодняшний день она является самой массивной звездой из всех известных.

Источники энергии звезд: термоядерный синтез и энергия гравитационного сжатия. На протяжении ста лет после формулирования Р. Майером в 1842 году закона сохранения энергии высказывали много гипотез о природе источников энергии звезд, в частности была предложена гипотеза о выпадении на звезду метеорных тел, радиоактивном распаде элементов, аннигиляции протонов и электронов. Реальное значение имеют только гравитационное сжатие и термоядерный синтез. *Термоядерная реакция (термоядерный синтез или нуклеосинтез)* – это реакция синтеза легких ядер в более тяжелые, происходящая только при очень высоких температурах и выделяющая огромное количество энергии.



Рис. 4. Самая массивная звезда из ныне известных R136A1 в сравнении с Солнцем

Планета (греч. – «странник») – это небесное тело, вращающееся по орбите вокруг звезды или ее остатков, достаточно массивное, чтобы стать округлым под

действием собственной гравитации, но недостаточно массивное для начала термоядерной реакции, и сумевшее очистить окрестности своей орбиты от планетозималей. Планеты от звезд в первую очередь отличаются по массам и температурам (звезды массивнее и горячее). И как следствие, в планетах в отличие от звезд не происходит термоядерный синтез, поэтому планеты не излучают, а только светят отраженным светом.

Планетная система – это система, состоящая из звезды (или нескольких звезд) и различных не звездобразных астрономических объектов: планет и их спутников, карликовых планет и астероидов и их спутников, метеороидов, комет и космической пыли, которые вращаются вокруг общего барицентра, то есть центра масс. Совместно одна или несколько звезд и их планетные системы образуют звездную систему. Сейчас предполагается наличие миллиардов планетных систем в нашей галактике. Причем конфигурации планетных систем могут быть самыми разными, а не только такой, как Солнечная система.

Галактики – гигантские пространственно-обособленные друг от друга системы космических тел, основными структурными элементами которых являются звезды (от 10^6 до 10^{13} звезд), в которых сосредоточено около 95% видимого галактического вещества, туманности, планетные тела и другие космические объекты. На рисунке 5 изображены типы галактик согласно морфологической классификации Э. Хаббла: 1) спиральные; 2) эллиптические; 3) irregулярные (неправильные).

Массы галактик варьируют от 10^{36} до 10^{43} кг, размеры – от 10^3 до 10^5 пк, возраст свыше $1,3 \times 10^{10}$ лет. Полагают, что среднее расстояние между галактиками 2 млн. световых лет, а типичная скорость движения галактик – около 1000 км/с.

Межзвездная среда (МЗС) – вещество и поля, заполняющие межзвездное пространство внутри галактик. Состав: межзвездный газ, пыль (1% от массы газа), межзвездные магнитные поля, космические лучи, а также темная материя. Химический состав межзвездной среды – продукт первичного нуклеосинтеза и ядерного синтеза в звездах. На протяжении своей жизни звезды испускают звездный ветер, который возвращает в среду элементы из атмосферы звезды. А в

конце жизни звезды с нее сбрасывается оболочка, обогащая межзвездную среду продуктами ядерного синтеза. Основная особенность МЗС – ее крайне низкая плотность – 0,1..1000 атомов в кубическом сантиметре.

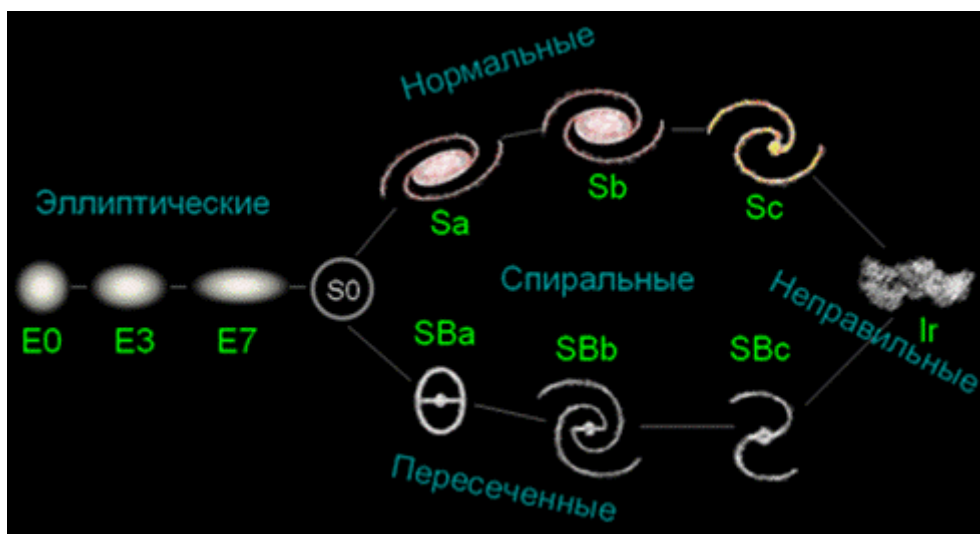


Рис. 5. Морфологическая классификация галактик Э. Хаббла

Скопления галактик – гравитационно-связанные системы галактик, одни из самых больших структур во Вселенной. Размеры скоплений галактик достигают десятков световых лет. Скопление галактик, в которое входит наша галактика Млечный путь принято называть местной группой галактик. В ее состав входит помимо нашей галактики: галактика М31 в созвездии Андромеды - ближайшая крупная к нам галактика (около триллиона звезд), галактика М33 в Треугольнике и около 50 карликовых галактик, являющиеся спутниками трех перечисленных крупных галактик. Ближайшее к нам скопление галактик наблюдается в созвездии Девы и называется скоплением Девы.

Сверхскопление галактик – многочисленные группы скоплений галактик в составе крупномасштабной структуры Вселенной.

Включают от двух до двадцати галактических скоплений, которые расположены либо в галактических нитях, либо в узлах пересечения нитей. Размеры сверхскоплений достигают сотен миллионов световых лет. Сверхскопления настолько большие, что не являются гравитационно-связанными, поэтому, принимают участие в расширении Вселенной. Местная группа галактик и

скопление Девы входят в состав так называемого сверхскопления Девы (размер 110 млн. св. лет), оно же в свою очередь является частью более крупного образования размером более 500 млн. св. лет.

Квазар – мощное и далекое активное ядро галактики. Кроме оптического, инфракрасного, ультрафиолетового и рентгеновского излучения они рожают потоки быстрых элементарных частиц – космических лучей, которые, распространяясь в магнитных полях, создают радиоизлучение квазара. Потоки космических лучей обычно покидают квазар в виде двух противоположно направленных струй (джетов), создавая два «радиооблака» по разные стороны от квазара. В состав квазаров входят вся периодическая система элементов Менделеева. Модель квазара (рис. 6), позволяющая объяснить его наблюдаемые свойства, такова: вокруг массивного компактного объекта (вероятно, черной дыры) вращается газовый диск (аккреционный диск). Его центральная горячая часть является источником электромагнитного излучения и быстрых космических частиц, которые могут вылетать только вдоль оси диска и поэтому формируют два противоположно направленных потока (джеты).

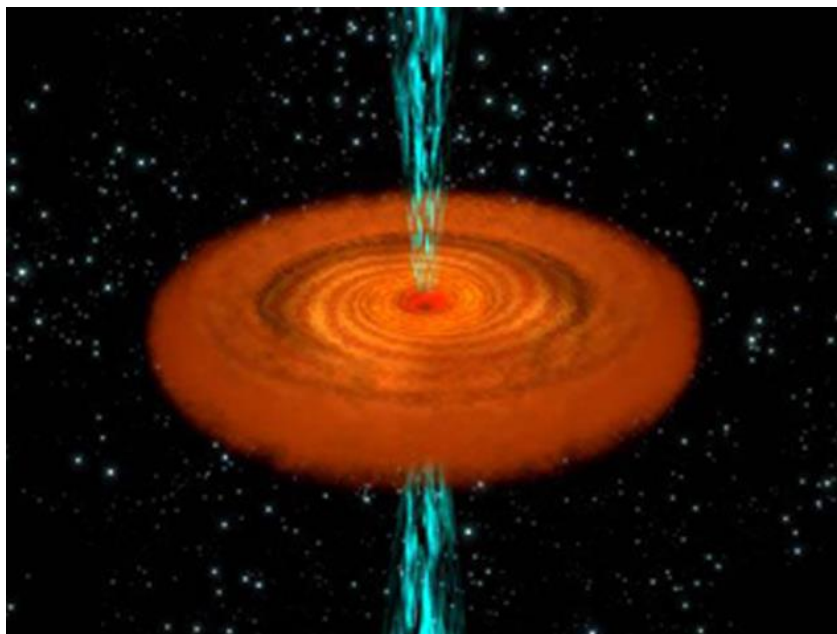


Рис. 6. Художественное изображение квазара

Микроквазары (рентгеновские двойные звезды) – это двойные звездные системы, в которых остаток первой звезды, сжатый в темный компактный объект

(такой как нейтронная звезда или черная дыра), гравитационно связан со второй обычной звездой (звезда компаньон, донор), которая движется по тесной орбите вокруг первого компонента (рис. 7). Названы объекты по аналогии с квазарами, т.к. имеют те же атрибуты (аккреционный диск, джеты), но меньших масштабов.

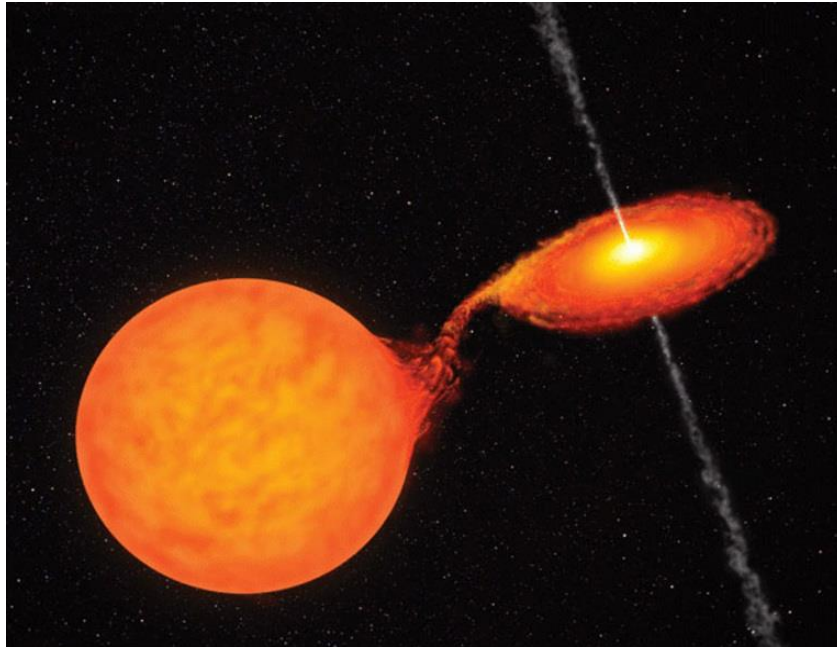


Рис. 7. Художественное изображение микроквазара

Млечный Путь – наша галактика

Млечный Путь (или Галактика, с заглавной буквы) – галактика, в которой находятся Земля, Солнечная система и все отдельные звезды, видимые невооруженным глазом. Относится к спиральным галактикам с перемычкой.

Диаметр Галактики составляет около 30 тысяч парсек (порядка 100000 световых лет, 1 квинтиллион километров) при оценочной средней толщине порядка 1000 световых лет. Галактика содержит порядка 300 миллиардов звезд (современная оценка колеблется в диапазоне предположений от 200 до 400 миллиардов). Основная масса звезд расположена в форме плоского диска. Современная минимальная оценка определяет массу галактики в 5×10^{11} масс Солнца. Большая часть массы Галактики содержится не в звездах и межзвездном

газе, а в несветящемся гало из темной материи. Галактика с ближайшими соседями схематично изображена на рисунке 8.

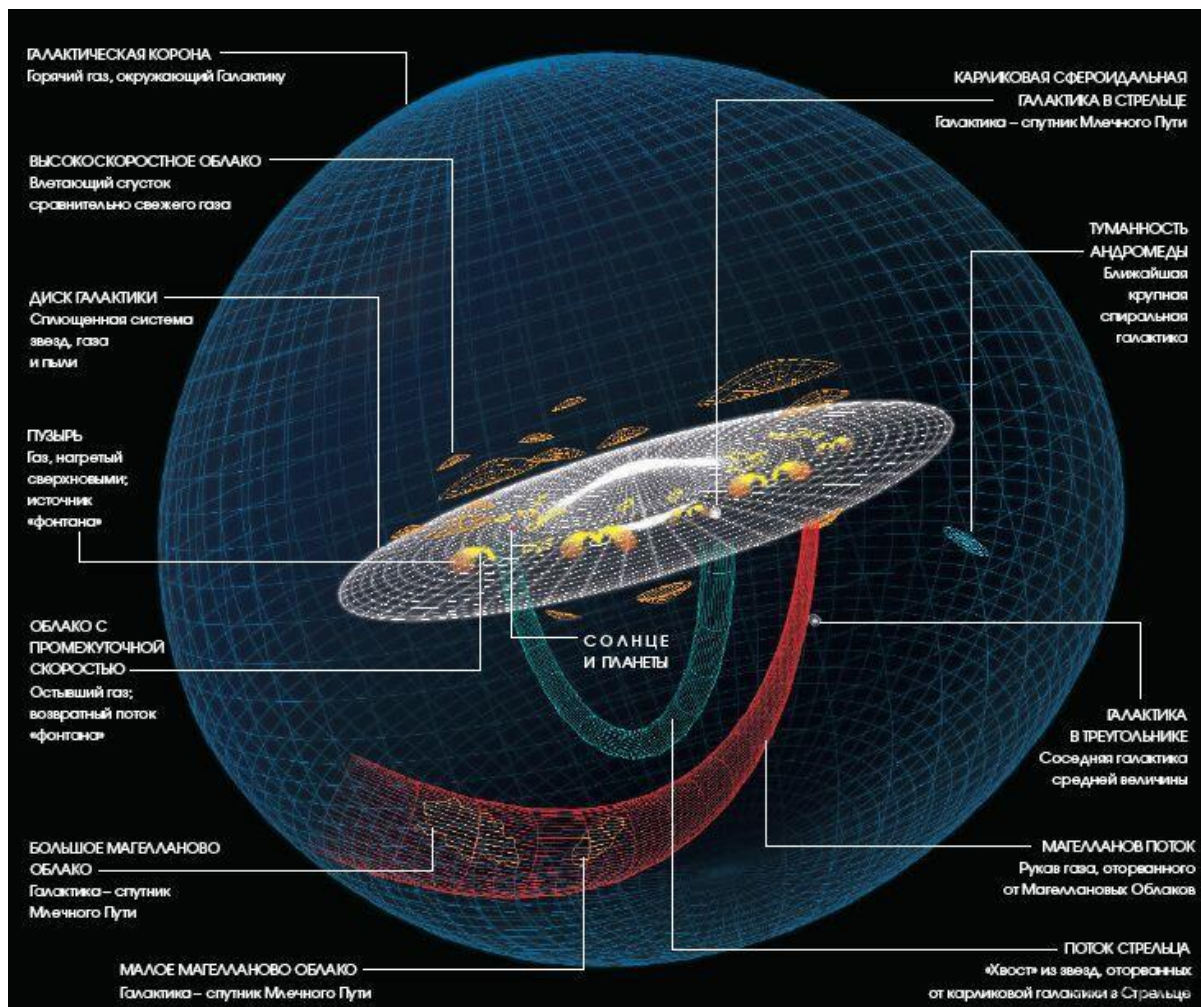


Рис. 8. Наша галактика и ее окрестности

Состав Солнечной системы

Солнечная система – это планетная система, в центре которой находится единственная звезда Солнце, а вокруг вращаются различные космические тела не звездной природы (рис. 9). Считается, что Солнечная система сформировалась примерно 4,5-5 млрд. лет назад. Сегодня в составе Солнечной системы выделяют 8 классических планет.

К планетам земной группы относятся: Меркурий, Венера, Земля и Марс. Все планеты земной группы имеют следующее строение:

- в центре ядро, состоящее из железа с примесью никеля;

- мантия, состоит из силикатов;
- кора, образовавшаяся в результате затвердевания вещества мантии,

состоящая также из силикатных пород, но обогащенная другими элементами.

У Меркурия по сравнению с другими планетами земной группы необычно большое ядро. Радиус ядра составляет $\frac{3}{4}$ радиуса планеты, что объясняют катастрофическим столкновением с другим небесным телом во время формирования планеты, в результате чего были сорваны верхние слои планеты.

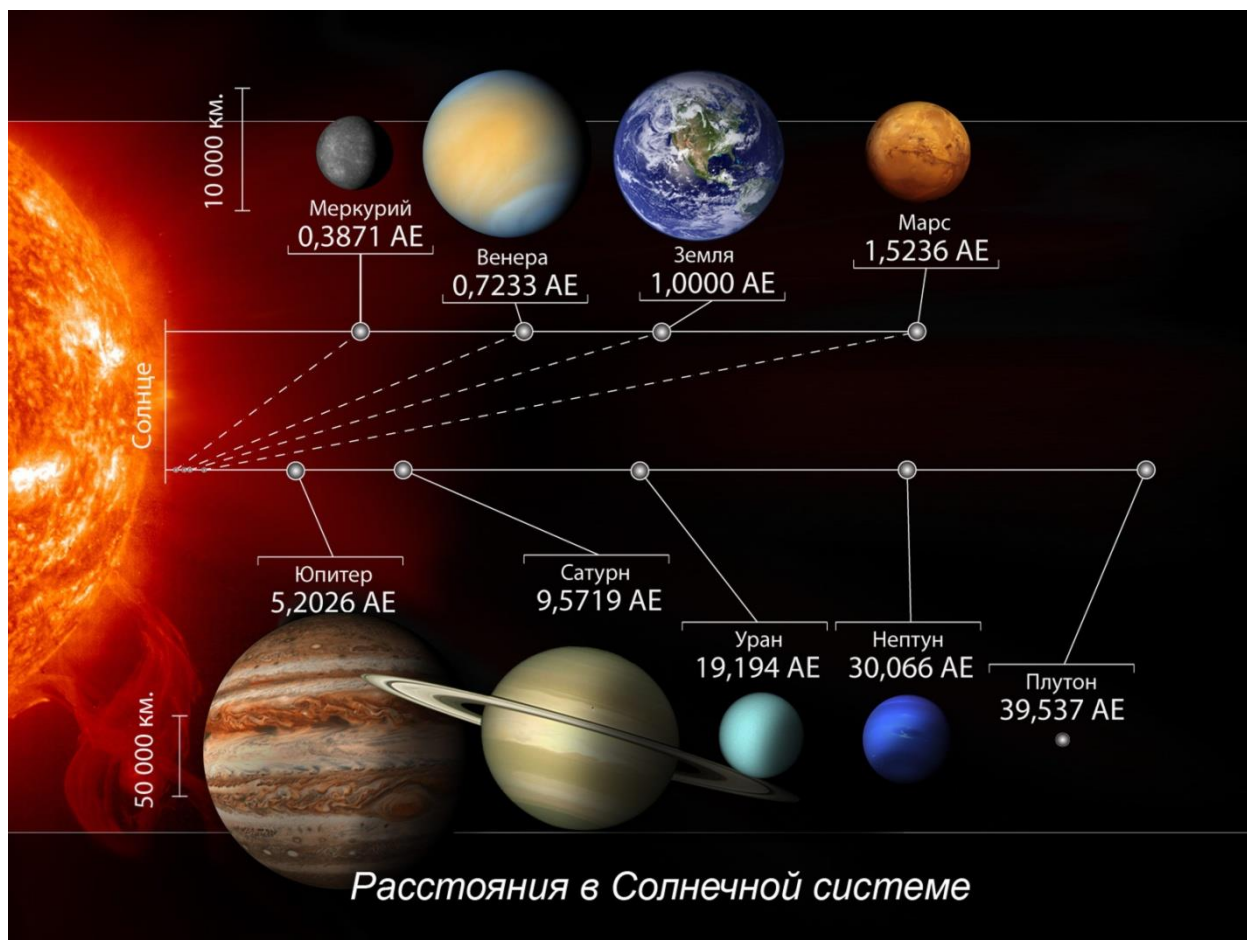


Рис. 9. Солнечная система

Планеты газовые гиганты: Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун.

В этих четырех планетах содержится 99% от массы всего вещества, что обращается на орбитах вокруг Солнца. Два самых крупных гиганта Юпитер и Сатурн являются газовыми гигантами без твердой поверхности и состоят в основном из водорода и гелия. Более удаленные и холодные Уран и Нептун имеют в своем составе большое количество различного льда (замерзших газов: метан

аммиак, водород), поэтому их часто называют «ледяными гигантами». Все газовые гиганты имеют кольца, но только кольца Сатурна легко наблюдаются с Земли, т.к. состоят из ледяных частиц, обладающих хорошей отражательной способностью.

Спутники планет – это тела Солнечной системы, обращающиеся вокруг планет под действием их притяжения. У Меркурия и Венеры нет спутников. У Земли 1 естественный спутник – Луна, у Марса всего два спутника: Деймос и Фобос. Планеты-гиганты все имеют большое количество спутников (на 2015 год): Юпитер – 67 (самые известные из них, Ганимед, Калисто, Ио и Европа, т.н. галилеевы спутники, открытые Г. Галилеем в 1610 г.), Сатурн – 62 (наиболее известны Титан, Гиперион и Энцелад), Уран – 27 (подавляющее большинство которых названо в честь героев произведений У. Шекспира, самые большие из них Титания и Оберон) и Нептун – 14 спутников (самый крупный из них - Тритон). Спутники имеются также у некоторых карликовых планет: у Плутона их 5 (крупнейший - Харон), у Хаумеи – 2, а у Эриды один спутник.

Астероиды и карликовые планеты – это твердые каменные тела, которые подобно планетам движутся по околосолнечным эллиптическим орбитам, но имеют много меньшие размеры и массы и неправильную форму. Астероидами принято называть тела размером более 30-50 метров. В Солнечной системе существуют два астероидных пояса: главный пояс астероидов между Марсом и Юпитером и пояс Койпера за Нептуном. К карликовым планетам относятся объекты, имеющие размеры более 1000 км и близкую к сферической форму. Международный Астрономический Союз официально признает карликовыми планетами сегодня лишь пять объектов - Цереру, Плутон, Хаумеа, Макемаке и Эриду, хотя есть несколько вероятных кандидатов на включение в эту группу.

Комета – это небесное тело, состоящее из ледяного ядра с примесями газов и пыли, движущееся по сильно вытянутой эллиптической орбите вокруг Солнца. При приближении к Солнцу ядро кометы начинает таять под действием солнечного света, вследствие чего высвобождающиеся с поверхности газы и пыль образуют газовый и пылевой шлейфы, по традиции называемые хвостом кометы.

Главный пояс астероидов – область Солнечной системы, расположенная между орбитами Марса и Юпитера, являющаяся местом скопления множества железно-каменных объектов всевозможных размеров. Самые крупные объекты этого пояса – это Церерра, Паллада, Веста и Гигея.

Пояс Койпера – область Солнечной системы от орбиты Нептуна (30 а.е. от Солнца) до расстояния около 55 а.е. от Солнца. Второй астероидный пояс, состоящий предположительно из десятков тысяч ледяных астероидов.

Облако Оорта – гипотетическая сферическая область Солнечной системы, находящаяся на расстоянии в тысячи раз дальше орбиты Нептуна. Служит источником долгопериодических комет (рис. 10).



Рис. 10. Пояс Койпера и облако Оорта

Метеороид – каменное небесное тело, промежуточное по размеру между межпланетной пылью и астероидом (рис. 11). Метеороид, влетевший с огромной скоростью (11-72 км/с) в атмосферу Земли, из-за трения сильно нагревается и

сгорает, превращаясь в светящийся метеор (который можно увидеть как «падающую звезду») или же болид. Видимый след метеороида, вошедшего в атмосферу Земли, называется *метеором*, а метеороид, упавший на поверхность Земли – *метеоритом*. Размер метеороида не имеет точного определения, он меньше размера астероида и больше пылинки. Британское королевское астрономическое общество выдвинуло другую формулировку, согласно которой метеороид – это тело диаметром от 100 мкм до 10 м. Другие источники ограничивают размер метеороида в 30 м.

Космическая пыль – образуется в космосе частицами размером от нескольких молекул до 10 мкм. 40000 тонн космической пыли каждый год оседает на поверхности Земли.



Рис. 11. Малые тела Солнечной системы

Солнечный ветер – потоки ионизированных частиц (в основном гелиево-водородной плазмы), истекающий из *солнечной короны* в окружающее космическое пространство со скоростью 300-1200 км/с.

Космические лучи – потоки элементарных частиц и ядер атомов, движущиеся с высокими энергиями в космическом пространстве.

Подводя итоги, хочется отметить, что изучение мегамира открывает перед нами все новые тайны мироздания. В мегамире применимы законы небесной механики и принципы общей теории относительности. Но существует множество

проблем в изучении мегамира, как например, темная материя и темная энергия, которые потребуют построения новых не менее блестящих теорий.

Вопросы и задания для контроля знаний по теме:

1. Что такое микро-, макро-, мегамир? Перечислите основные структурные единицы мегамира в порядке возрастания масштаба.
2. Дайте определения астрономическая единица, световой год и парсек.
3. Каково строение и состав Солнечной системы?
4. Что такое карликовая планета, астероид, комета, метеор и метеорит?
5. Что такое квазары и микроквазары?
6. Дайте краткое описание галактики Млечный путь.

МИКРО-, МАКРО-, МЕГАМИРЫ: СТРУКТУРА МИКРОМИРА

Дискретность материи

Еще в III веке до н.э. Аристотель выдвинул гипотезу непрерывности вещества, т.е. идею о том, вещество сколько угодно можно делить на все более мелкие части. На смену Аристотелевским представлениям пришел атомизм древнегреческих мыслителей Левкиппа и Демокрита (гипотеза дискретности вещества), которыми было введено понятие атома, как неделимой мельчайшей частицы. Много позже в середине XVIII века М.В. Ломоносов ввел понятие корпускула – мельчайшая частица вещества (молекула). В начале XX века Жан Батист Перрен доказал существование молекул при помощи броуновского движения.

Молекула в современном понимании – это наименьшая частица вещества, сохраняющая его химические свойства и состоящая из атомов, соединенных между собой химическими связями.

Развитие представлений о микромире

В 1896 году А. Беккерель открыл новое явление – радиоактивность. Он занимался изучением воздействия различных люминесцирующих веществ на фотопластинку и обнаружил, что соли урана являются источником неизвестного до этого излучения, которое не является люминесцирующим излучением. Чуть позже супруги физики П. Кюри и М. Складовская-Кюри открыли два новых радиоактивных элемента – радий и полоний. Явление самопроизвольного излучения некоторыми элементами было названо радиоактивностью.

Далее следовали открытия некоторых элементарных частиц. В 1897 году Дж. Томсон открыл электрон. 1911-1913 г.г. Э. Резерфорд изучал сложную структуру атома, в результате чего открыл протон. 1932 г. – Дж. Чедвик открыл нейтрон. Позже ряд элементарных частиц был открыт в составе космического излучения, например, нейтрино. В последнее время для экспериментального обнаружения

элементарных частиц используют ускорители частиц. Совсем недавно с помощью Большого адронного коллайдера был обнаружен бозон Хиггса.

В середине 1960-х гг. ученым удалось обнаружить из чего состоят нейтроны и протоны. Частицы, их составляющие, были названы кварками и они являются мельчайшими частицами вещества.

Теперь известно, что все 3 вида материи (вещество, поле и физический вакуум) имеют дискретную структуру. Электромагнитное поле, например, распространяется фотонами, гравитационное, предположительно гравитонами, а физический вакуум состоит из так называемых виртуальных частиц (частиц, столь коротко живущих, что невозможна их регистрация).

Модели атома

Все модели базировались на утверждении о том, что атом электрически нейтрален.

Дж. Томсон в 1897 году создал первую модель атома. Согласно ей положительный заряд равномерно распределен по всему объему атома, а отрицательные заряды местами вкраплены (рис. 12).

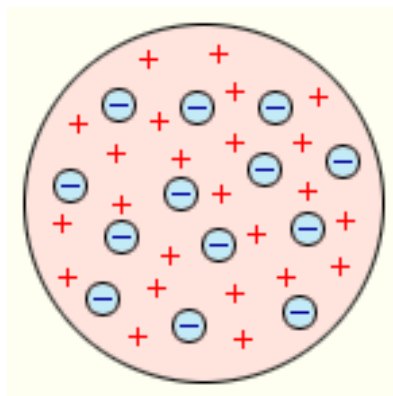


Рис. 12. Модель атома Томсона

Э. Резерфорд в 1911 предложил свою планетарную модель атома. Согласно ей в центре атома находится положительно заряженное ядро, занимающее очень малую часть от объема атома, но составляющее большую часть его массы, а легкие

отрицательные электроны расположены на достаточно большом расстоянии от него (рис. 13).

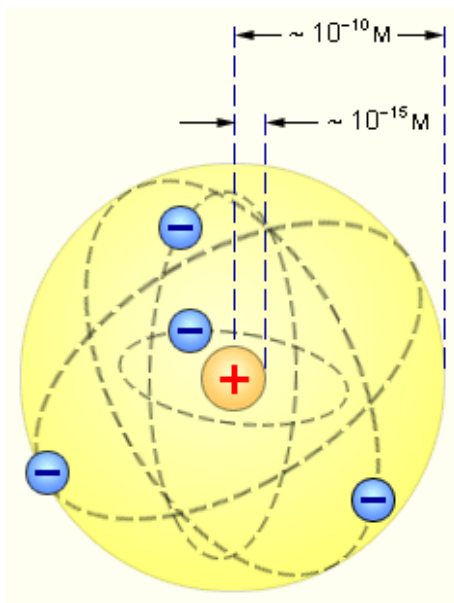


Рис. 13. Планетарная модель атома Резерфорд

Модель Н. Бора (1913 год).

Бор дополнил планетарную модель Резерфорда следующими постулатами:

1. Электроны в атоме находятся в определенном стационарном состоянии, которому соответствует определенное значение энергии. При этом они движутся по стационарным «боровским» орбитам.
2. Переход электронов с одного энергетического на другой(с одной орбиты на другую) происходит с излучением или поглощением кванта энергии:

$$h\nu = E_2 - E_1$$

E_1 – начальная энергия электрона, E_2 – энергия электрона после перехода, $h = 6.62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка, а ν – частота световой волны.

Основные положения квантовой механики

В начале XX века выяснилось, что объекты микромира не поддаются классическому ньютоновскому механическому описанию. Поэтому назрела необходимость создания раздела физики, описывающего микромир. Так возникла

квантовая механика, начало которой положил М. Планк, выдвинувший гипотезу квантования энергии. Он предположил, что свет излучается и поглощается определенными порциями (квантами), энергия каждой такой порции вычисляется по формуле:

$$E = h \nu$$

На основании этого утверждения в 1905 г. А. Эйнштейн разгадал механизм фотоэффекта, т.е. эмиссии электронов с поверхности металлов в результате их облучения ультрафиолетовым излучением. Эйнштейн сделал следующий шаг в развитии квантовых представлений. Он пришел к выводу, что и свет обладает дискретной структурой, т.е. состоит из отдельных порций энергии – квантов света, впоследствии названных фотонами. При взаимодействии с веществом фотон целиком передает всю свою энергию одному электрону, в результате чего электрон может покинуть вещество.

В 1926 году Э. Шредингер дал квантово-механическое описание движения микрочастиц. Его волновое уравнение, содержит функцию Ψ (x,y,z), которая зависит от всех трех координат движения электрона и является аналогом амплитуды. При этом квадрат волновой функции Ψ^2 определяет вероятность нахождения электрона в данной точке атомного пространства с координатами x, y, z. Из уравнения Шредингера следует, что нет какой-то определенной «боровской» орбиты у электронов в атоме, а существует электронное облако и плотность вероятности нахождения электрона в каком-то месте атома. Чем больше эта плотность, тем выше вероятность нахождения электрона в данном месте.

Также в 1926 году В. Гейзенберг выдвинул важнейший принцип в квантовой механике – *принцип неопределенности*.

Для микрочастиц, которые обладают и свойствами частиц и свойствами волны (корпускулярно-волновой дуализм) невозможно одновременно одинаково точно определить и координату, и импульс (скорость). Чем выше точность определения координаты по одной из осей координат, тем менее точно определяется импульс (скорость) по той же оси, и наоборот.

Математически этот принцип был сформулирован Гейзенбергом в виде соотношений неопределенностей:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{2\pi} \equiv \hbar$$

$$\Delta y \cdot \Delta p_y \geq \frac{h}{2\pi}$$

$$\Delta z \cdot \Delta p_z \geq \frac{h}{2\pi}$$

Здесь h – постоянная Планка Δx – это неопределенность нахождения координаты частицы, Δp_x – неопределенность нахождения импульса частицы.

Ни для какого движения в природе это произведение не будет меньше постоянной Планка.

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{2\pi}$$

Невозможно также одновременное точное определение изменения энергии и среднего времени жизни частицы, за которое происходит это изменение.

Еще один важный принцип – *принцип дополнительности Бора* (сформулирован Н. Бором в 1927-м году): для того чтобы наиболее адекватно описать физический объект, относящийся к микромиру, его нужно описывать во взаимоисключающих, дополнительных системах описания, т.е. одновременно и как волну, и как частицу. При этом проявление и волновых, и корпускулярных свойств в одних и тех же экспериментах невозможно.

Элементарные частицы

Сегодня известно около 400 элементарных частиц. Все элементарные частицы субатомны, то есть размером меньше атома. Основными характеристиками элементарных частиц являются масса, среднее время жизни, заряд, спин (момент количества движения) и другие квантовые числа.

Подавляющему большинству частиц соответствует своя античастица, например, электрон и позитрон. Частица и античастица аннигилируют при встрече (т.е. уничтожаются с выделением энергии в виде фотонов). Также имеет место быть обратный аннигиляции процесс – рождение пары частица-античастица из фотонов.

В 1928-м году Поль Дирак предсказал существование античастицы электрона – позитрон. Уравнение аннигиляции пары частиц электрон-позитрон записывается следующим образом:

$$\beta + e^- \leftrightarrow 2\gamma + Q$$

При аннигиляции 1 грамма электронов и позитронов выделяется энергии, такая же, как при взрыве в 10 килотонн тротила.

Существует несколько способов классифицирования элементарных частиц. На рис. 14 представлена общая классификация элементарных частиц.

По участию в фундаментальном взаимодействии:

1. *Адроны* – тяжелые элементарные частицы, участвующие во всех 4 видах фундаментального взаимодействия.
2. *Лептоны* – легкие элементарные частицы, которые подвержены трем фундаментальным взаимодействиям: слабое, электромагнитное и гравитационное, но не участвуют в сильном взаимодействии.
3. *Фотоны* – безмассовые элементарные частицы, не участвующие в сильном и слабом взаимодействии.

По времени жизни:

1. *Стабильными* являются электрон (время жизни $t=5 \times 10^{21}$ лет), протон ($t=2 \times 10^{30}$ лет), фотон и нейтрино.
2. *К квазистабильным* относят частицы, которые распадаются за счет электромагнитных и слабых взаимодействий. Их время жизни 10^{-20} сек (например, свободный нейтрон).
3. *Резонансами* называют элементарные частицы, распадающиеся за счет сильных взаимодействий. Их характерное время жизни 10^{-23} сек.

По спину:

1. Частицы с целым спином называются *бозонами*;

2. С полуцелым спином – фермионами.

Классификация элементарных частиц								
Наименование частицы		Символ		Масса МэВ	Электрический заряд	Время жизни, (секунды)		
		Частица	Анти-частица					
Фотон		γ	$\bar{\gamma}$	0	0	Стабилен		
Лептоны	Нейтрино электронное	ν_e	$\bar{\nu}_e$	0	0	Стабильно		
	Нейтрино мюонное	ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$	0	0	Стабильно		
	Нейтрино тау-лептонное	ν_τ	$\bar{\nu}_\tau$	0	-1	Стабильно		
	Электрон	e^-	e^+	0.511	-1	Стабилен		
	Мюон	μ^-	μ^+	105.66	0	$2,2 \cdot 10^{-6}$		
	Тау-лептон	T^-	T^+	1782	0	$3,4 \cdot 10^{-13}$		
Адроны	Мезоны	Пи-мезоны (пионы)	π^0	π^0	134,96	0	$8 \cdot 10^{-17}$	
			π^+	π^-	139,57	1	$2,6 \cdot 10^{-8}$	
		Ка-мезоны (каоны)	K^+	K^-	493,67	1	$1,24 \cdot 10^{-8}$	
			K^0	\bar{K}^0	497,7	0	$K_S^0 - 8.9 \cdot 10^{-8}$	
	Эта-нуль мезон	η^0	η^0	548,8	0	$K_L^0 - 5.18 \cdot 10^{-8}$ 10^{-18}		
	Барионы	Нуклоны	Протон	p	\bar{p}	938,28	1	Стабилен
			Нейтрон	n	\bar{n}	939,57	0	918
		Гипероны	Лямбда-гиперон	λ^0	$\bar{\lambda}^0$	1115,6	0	$2,6 \cdot 10^{-10}$
			Сигма-гипероны	Σ^+	$\bar{\Sigma}^+$	1189,37	1	$8 \cdot 10^{-11}$
				Σ^0	$\bar{\Sigma}^0$	1192,48	0	$5.8 \cdot 10^{-20}$
				Σ^-	$\bar{\Sigma}^-$	1197,35	-1	$1.48 \cdot 10^{-10}$
			Кси-гипероны	Ξ^0	$\bar{\Xi}^0$	1314,9	0	$2.90 \cdot 10^{-10}$
				Ξ^-	$\bar{\Xi}^-$	1321,3	-1	$1.64 \cdot 10^{-10}$
			Омега-минус-частица	Ω^-	$\bar{\Omega}^-$	1672,2	-1	$8.2 \cdot 10^{-11}$

security-net.ru

security-net.ru

Рис. 14. Классификация элементарных частиц

Можно выделить всего 12 фундаментальных частиц и столько же античастиц, которые составляют основу материального мира. К таким частицам относятся: 6 кварков (имеющие «необычные названия» - нижний, верхний, странный, очарованный, прелестный, истинный) и 6 лептонов (электрон, мю-лептон (мюон), тау-лептон (таон), электронное, мюонное и тау – нейтрино (ν_e , ν_μ , ν_τ)).

Современная концепция атомного ядра

Представим вашему вниманию основные сведения об атомном ядре.

Массовое число – это суммарное количество всех нуклонов в ядре (протонов 1_1p и нейтронов 1_0n):

$$A = \sum {}^1_1p + {}^1_0n$$

Зарядовое число равно количеству протонов в ядре и соответственно количеству электронов в нейтральном атоме, т.е. показывает заряд ядра.

Ядра, которые обладают одинаковым зарядом, но разной массой являются изотопами.

${}^{35}_{17}Cl$ – 75%, ${}^{37}_{17}Cl$ – 25% природного хлора.

1_1H (протий), 2_1H (дейтерий), 3_1H (третий) – это три существующих в природе изотопа водорода.

Ядра, имеющие одинаковые массовые числа, но разный заряд называются изобарами., например, ${}^{36}_{16}S$ и ${}^{36}_{18}Ar$.

Дефект масс. Данный эффект заключается в том, что масса ядра $m_{\text{я}}$ всегда оказывается меньше суммарной массы входящих в состав ядра протонов 1_1p и нейтронов 1_0n :

$$\Delta m = \sum ({}^1_1p + {}^1_0n) - m_{\text{я}}$$

Эта разница масс согласно Эйнштейновскому принципу эквивалентности массы и энергии приходится на энергию связи протонов и нейтронов внутри ядра:

$$\Delta E_{\text{св}} = \Delta m c^2$$

В заключении хочется отметить, что микромир наиболее сложен для изучения. Микрообъекты, как оказалось, помимо того, что непосредственно не наблюдаемы, так еще обладают рядом невероятных по сравнению с макрообъектами свойств, что требует применения законов квантовой механики и специальной теории относительности и открытия новых закономерностей.

Вопросы и задания для контроля знаний по теме:

1. Что означает дискретность материи? Каково иерархическое строение материи?
2. Раскройте историю развития представлений о строении атома.
3. Опишите существующие модели строения атомного ядра.
4. Что такое элементарные частицы? Какими характеристиками они обладают?
5. Какие существуют классификации элементарных частиц?
6. В чем заключаются принцип неопределенности Гейзенберга и принцип дополнительности Н. Бора?

ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ И СИНЕРГЕТИКИ

Термодинамика возникла в начале XIX века как эмпирическая наука об основных способах преобразования внутренней энергии тел для совершения механической работы. Возникшая в таком виде классическая термодинамика рассматривала изолированные системы, которые стремятся к равновесному состоянию. Но для изучения открытых, нелинейных и неравновесных систем была создана нелинейная неравновесная термодинамика, на базе которой в начале 70-х годов XX века родилось совершенно новое междисциплинарное направление – синергетика. Синергетика изучает уникальное свойство открытых, нелинейных, неравновесных систем – способность к самоорганизации. Причем самоорганизация наблюдается в системах совершенно разной природы: химических, физических, биологических системах. Что и придает синергетике статус междисциплинарного знания. Но прежде чем, мы приступим к рассмотрению основных механизмов самоорганизации и примеров ее проявления, обратимся к основным понятиям классической термодинамики.

Обратимый процесс – процесс, при котором система возвращается к исходному состоянию самопроизвольно без каких-либо потерь и изменений в окружающей среде. Это гипотетический цикл. Все реальные процессы необратимы.

Необратимый процесс – это такой процесс, который может самопроизвольно протекать лишь в одном определенном направлении; возвращение в исходное состояние возможно в этом случае только при внешнем воздействии.

Термодинамическое равновесие – состояние системы, при котором остаются неизменными во времени макроскопические величины этой системы (температура, давление, объем, энтропия) в условиях изолированности от окружающей среды.

Первый закон термодинамики

Это закон сохранения и превращения энергии. Если система является изолированной, то работа внешних сил равна нулю ($A=0$) и система не

обменивается теплотой с окружающими телами ($Q=0$). Внутренняя энергия изолированной системы остается неизменной (сохраняется).

При переходе системы из одного состояния в другое изменение ее внутренней энергии равно сумме работы внешних сил и количества теплоты, переданного системе:

$$\Delta U = Q + A_{\text{вн}}$$

$A_{\text{вн}}$ – работа внешних сил, Q – количество теплоты ΔU – изменение внутренней энергии.

Из этого закона следует невозможность создания *вечного двигателя первого рода* – устройство, способное бесконечно совершать работу без затрат топлива или других энергетических ресурсов.

Второй закон термодинамики

Это закон о возрастании энтропии. Энтропия находится как приведенная теплота:

$$S_2 - S_1 = \Delta S = \frac{Q}{T}$$

Второй закон термодинамики формулируется так:

Энтропия замкнутой термодинамической системы возрастает или остается неизменной и достигает максимума при тепловом равновесии системы:

$$\Delta S \geq 0.$$

Если процесс обратимый, то $\Delta S = 0$, если необратимый, то $\Delta S > 0$.

Энтропия – это количественная мера беспорядка в системе, чем выше энтропия системы, тем меньше упорядочена система.

Согласно второму закону термодинамики невозможно создать *вечный двигатель второго рода*, т.е. такую тепловую машину, которая превращала бы всю теплоту в работу. Коэффициент полезного действия (КПД) всегда меньше 100%.

Концепции эволюции реальных систем

Классическая термодинамика рассматривала только изолированные системы. Для описания открытых систем в середине XX века учеными: И. Пригожин и Г. Хакен была создана неравновесная термодинамика. Реальные природные системы как правило являются неизолированными, т.е. открытыми. Такие системы более организованы и энтропия в них не увеличивается. Причем чем больше информации поступает в систему, тем система более организована, и тем меньше ее энтропия:

$$\text{Информация} = \frac{1}{\text{Энтропия}}$$

Таким образом, информация, как и энтропия – это мера организованности системы.

Теория самоорганизации (*синергетика*) была разработана теми же учеными, что и неравновесная термодинамика. *Самоорганизация* – это коллективное взаимодействие компонентов в открытой системе, которое в дальнейшем может привести к возникновению нового порядка в системе.

Самоорганизация в системе произойдет только при условии, если система:

1. состоит из большого количества компонентов;
2. является открытой, диссипативной;
3. находится далеко от точки равновесия, следовательно, энтропия системы не является максимальной.

Открытость системы способствует появлению и накоплению флуктуаций в системе, которые способствуют появлению беспорядка в системе. Таким образом, флуктуации ведут к возрастанию энтропии. Новый порядок согласно синергетике всегда образуется через хаос. По достижению энтропией максимального значения система приходит к так называемой точке *бифуркации* (точка выбора), после которой система может развиваться по нескольким альтернативным сценариям, может самоорганизоваться или остаться беспорядочной. После выбора система приходит в новое устойчивое состояние, которое называют *аттрактор*.

Самоорганизация проявляется во всех областях: в физике, в химии, в живой природе. Рассмотрим простейшие примеры самоорганизации: излучение лазера, ячейки Бенара, реакции Белоусова-Жаботинского.

Работа лазера. В лазере под действием мощной лампы накачки атомы рубина приходят в возбужденное состояние и начинают излучать. Сначала их излучение является хаотическим, т.е. атомы излучают независимо друг от друга, лазер при этом ничем не отличается от обычной лампы. Но при некотором критическом значении мощности накачки атомы рубина начинают излучать согласованно, т.е. излучение становится упорядоченным. Такой переход от хаоса к порядку происходит скачкообразно, что соответствует теории самоорганизации.

Ячейки Бенара. Классическим примером возникновения структуры является конвективная ячейка Бенара. Этот опыт впервые был осуществлен в начале XX века ученым Х. Бенаром. В посуде с гладким дном растапливается парафин (или наливается масло) и добавляется металлическая стружка. Такая смесь является вязкой жидкостью. Если начать ее нагревать, то получится наглядная модель самоорганизации открытой системы. При небольшом перепаде температур между нижним нагретым слоем этой жидкости и верхним еще не нагретым, передача тепла снизу вверх будет происходить только за счет теплопроводности, при этом такая система будет открытой хаотической системой. Но при определенном перепаде температур (критическое значение) между нижним и верхним слоями жидкости передача тепла начинает происходить посредством конвекции и на ее поверхности возникают упорядоченные структуры в форме шестигранников (конвективных ячеек). В центре ячейки нагретая струя жидкости поднимается со дна, а по краям ячейки, остывая, опускается вниз (рис. 15). При перемешивании ячейки исчезают, но очень быстро возникают снова. Величина ячеек прямо зависит от толщины слоя жидкости. Подобные конвективные ячейки образуются на поверхности Солнца.

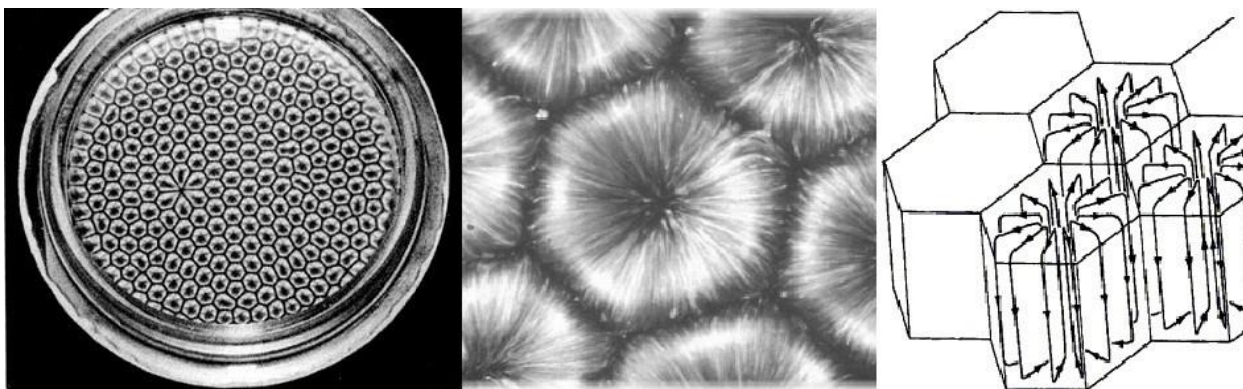


Рис. 15. Ячейки Бенара

Реакция Белоусова-Жаботинского или «химические часы». Самоорганизация в химических системах проявляется в периодичности изменения некоторых параметров реакции (цвет, концентрация компонентов, температура и др.), при этом образуется сложная пространственно-временная структура реакционной среды. Т.е. это значит, что при определенном составе реагирующей смеси, происходит возвращение к исходным реагентам через определенную серию промежуточных химических реакций и этот процесс повторяется периодически. Такие химические системы называют автоколебательными или «химическими часами». Впервые о них стало известно еще в 50-х годах 20-го века благодаря работам советских ученых Б. Белоусова и А. Жаботинского, позже любые автоколебательные химические реакции стали называться их именами. Примером такой реакции служит реакция окисления органической (малоновой) кислоты бромидом калия. При добавлении индикатора окислительно-восстановительных реакций (ферроина) можно наблюдать за ходом реакции по периодическому изменению цвета раствора с синего на красный и наоборот (рис. 16).

Если же эту смесь налить тонким слоем, то в нем изменения концентрации проявляются в виде спиральных волн, которые так же видны невооруженным глазом в присутствии индикатора (рис. 17).

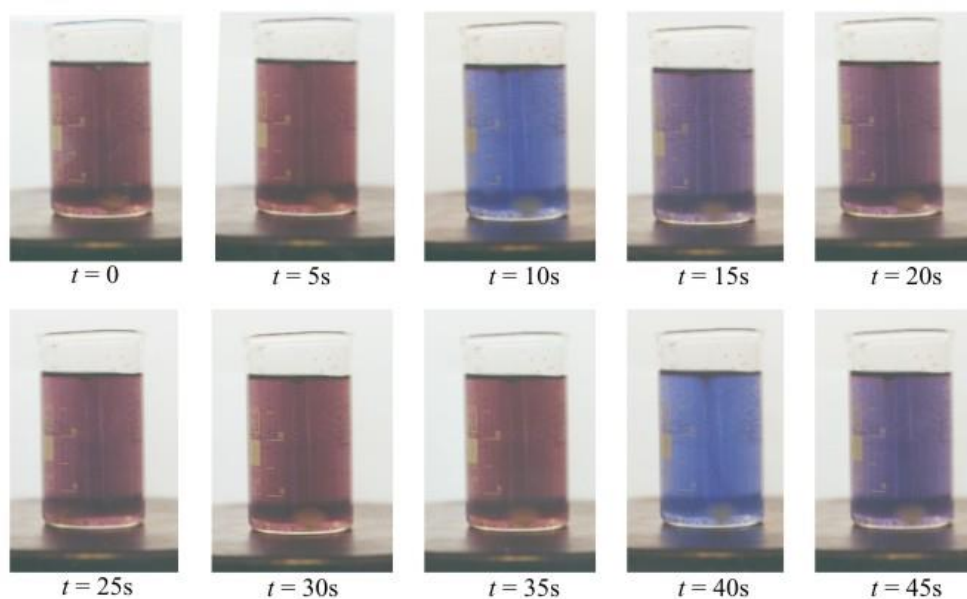


Рис. 16. Реакция Белоусова-Жаботинского

Этот колебательный процесс идет без всякого вмешательства извне в течение нескольких десятков минут.



Рис. 17. Спиральные волны в реакции Белоусова-Жаботинского

Синергетика, как было уже замечено выше, изучает процессы самоорганизации, происходящие в открытых системах, а многие реальные системы таковыми и являются. Поэтому примеры самоорганизации можно найти в самых разных областях знания. Например, формирование структуры астрофизических объектов (к примеру, образование звезд или планетных систем, форма спиральных галактик), образование кристаллов, сворачивание белков и других биологических макромолекул, гомеостаз (природа саморегулирования систем от клетки до целого организма), создание структур социальными животными, такими как общественные насекомые (пчелы, муравьи, термиты) и формирование стай птиц или рыб, и т.д. Возможно, что человеческое общество, общественное мнение и рыночная экономика это тоже результат самоорганизации. Но в отличие от простейших химических и физических самоорганизующихся систем, самоорганизацию в живой природе и человеческом обществе сложнее описать через понятия современной синергетики, основанной на неравновесной термодинамике. Это означает, что синергетика должна и будет развивать универсальные подходы в изучении самоорганизации в любом ее проявлении.

Вопросы и задания для контроля знаний по теме:

1. Что такое обратимые и необратимые процессы?
2. Сформулируйте первый закон термодинамики. Что такое вечный двигатель первого рода?
3. Сформулируйте второй закон термодинамики. Раскройте понятие вечного двигателя второго рода.
4. Раскройте понятие энтропии как меры порядка и беспорядка и ее связь с информацией.
5. Что такое синергетика? В чем заключается процесс самоорганизации системы и каковы условия ее возникновения?

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ КОСМОГОНИИ

Космогония – это раздел астрономии, изучающий происхождение и эволюцию отдельных космических тел и их систем (звезда, планетная система, галактика и т.д.). Мы рассмотрим, наиболее развитые космогонические представления о происхождении и эволюции звезд, в том числе Солнца, Солнечной системы и Земли. Хочется отметить, что они не являются законченными и однозначными теориями, многие космогонические положения находятся на стадии гипотезы и требуют дальнейших исследований.

Происхождение и эволюция звезд разной массы

Рассмотрим ключевые звездные характеристики: возраст, светимость, абсолютная и видимая звездная величина, температура, масса.

Возраст звезд варьируется от миллионов лет до 13-14 млрд. лет.

Светимость – это полное количество энергии, излучаемой звездой в единицу времени. Эта величина не зависит от расстояния до звезды, потому является важной характеристикой для сравнения звезд разного типа.

Видимая звездная величина – величина, характеризующая звезду с точки зрения визуального наблюдения. Чем больше значение видимой звездной величины, тем более слабым объектом на небе она нам видится. Яркие звезды имеют отрицательные видимые величины. Для сравнения: наше Солнце: $-26,72^m$, самая яркая звезда на всем небе Сириус: $-1,47^m$, а звездная величина Полярной звезды составляет $1,97^m$.

Абсолютная звездная величина – это звездная величина звезды, какую она бы имела на расстоянии 10 парсек от Земли.

Температура. От значения поверхностной температуры зависит цвет звезды. Температура также как и светимость позволяет сравнивать звезды друг с другом, т.о. все звезды можно проклассифицировать по температуре и светимости (эти две характеристики связаны друг с другом). По температуре (цвету) выделяют следующие классы: О В А F G K и М. Существует забавный вариант

мнемонического запоминания температурных классов звезд: «Один Бритый Англичанин Финики Жевал Как Морковь». Белые и голубые – самые горячие звезды, красные – самые холодные.

Зависимость между абсолютной светимостью звезды и ее температурой (классом) отражается в виде диаграммы, которую принято называть именами ученых, получивших ее независимо друг от друга в начале XX века: Э. Герцшпрунга и Г. Рассела. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела отражает этапы эволюции звезд (представлена на рис. 18, черным цветом обозначен эволюционный трек Солнца).

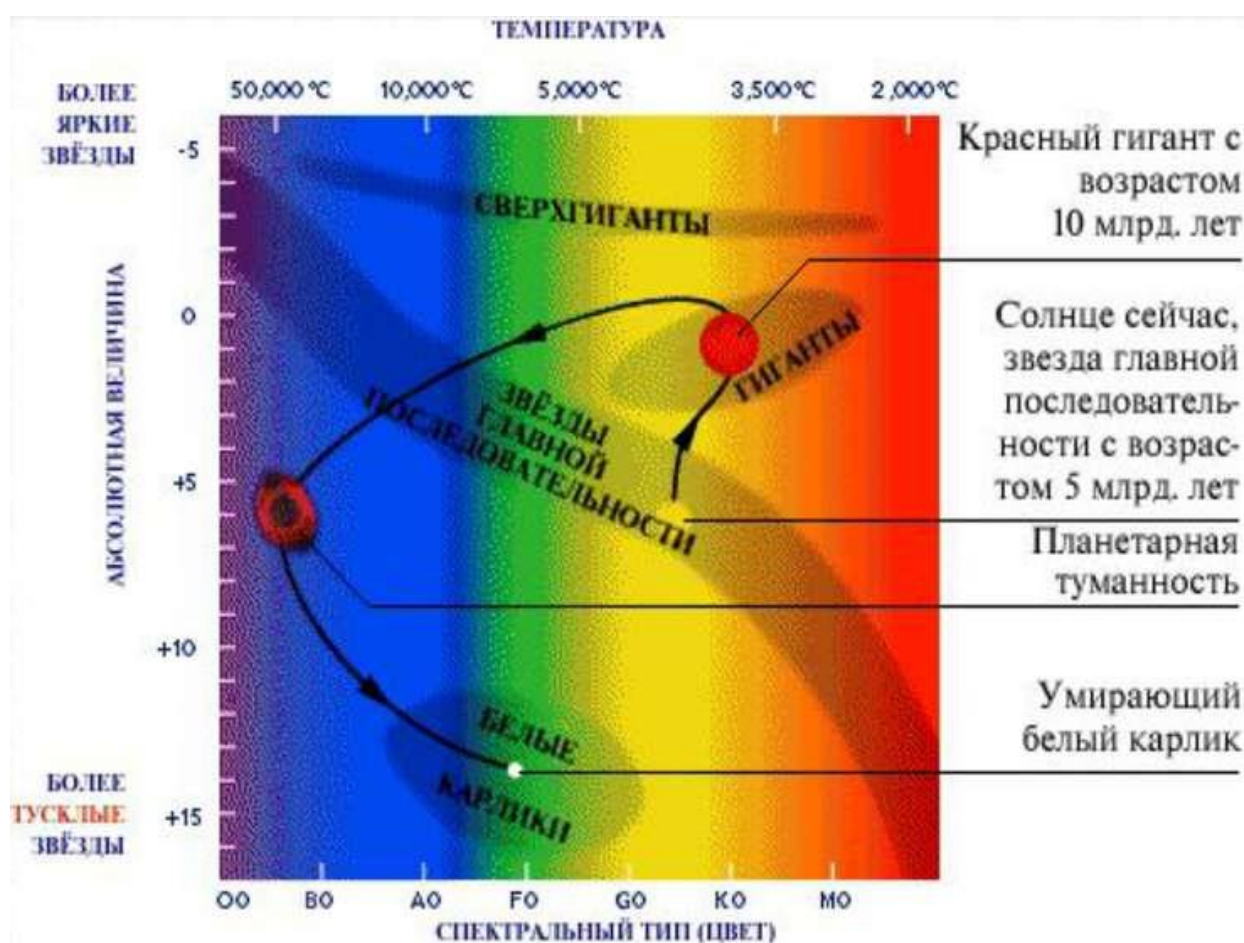
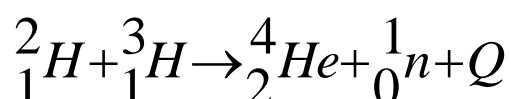


Рис. 18 Диаграмма Герцшпрунга-Рассела

По современным представлениям образуются звезды при сжатии отдельных участков закручивающейся газопылевой туманности и как правило сразу большими группами в сотни объектов. Звезду на этом этапе развития называют *протозвездой*. При этом при отделении каждого фрагмента туманности в виде протозвезды

освобождается энергия в виде инфракрасного излучения. В 1957 году такое скопление источников инфракрасного излучения было обнаружено в туманности Ориона, это значит, что там идет образование звезд. Под действием гравитационных сил протозвезда сжимается, в результате чего возрастает температура звезды. Когда температура в недрах звезды достигает миллионов градусов, звезда «зажигается», т.е. начинаются термоядерные реакции.

Напомним, что *термоядерный синтез (нуклеосинтез)* – это реакция превращения легких атомных ядер в более тяжелые. Для ее осуществления необходимо, чтобы исходные легкие ядра сблизилась до расстояний, равных или меньших радиуса сферы действия ядерных сил притяжения (т.е. до расстояний 10^{-15} м). Такому взаимному сближению ядер препятствуют кулоновские силы отталкивания, действующие между положительно заряженными ядрами. Для возникновения реакции синтеза необходимо нагреть вещество большой плотности до сверхвысоких температур (порядка миллионов Кельвин), чтобы кинетическая энергия теплового движения ядер оказалась достаточной для преодоления кулоновских сил отталкивания. При таких температурах вещество существует в виде плазмы. Такие условия естественным образом реализуются в недрах звезд. После того, как в протозвезде начинается термоядерный синтез, звезда переходит на *стадию главной последовательности*. На этой стадии сейчас находится большая часть звезд, в том числе и Солнце. Такие звезды, как Солнце проживают стадию главной последовательности миллиарды лет (Солнцу отведено 10 млрд., половину из которых звезда уже прожила). Простейший тип термоядерного синтеза, который реализуется в звездах главной последовательности – это синтез ядер водорода в ядра гелия с выделением энергии (Q):



По мере истощения запасов водорода, звезда начинает стареть, и особенности протекания этого процесса, как и вся ее эволюция, зависят от массы звезды.

Эволюция звезды на последних стадиях жизни при массе меньше или равной 1,5 массам Солнца. После того как в центре звезды "выгорает" весь водород звезда под действием гравитационных сил начинает сжиматься. При этом в центре звезды образуется гелиевое ядро, которое сжимается значительно быстрее, чем остальная часть звезды. Из гелия в этом случае не образуются более тяжелые элементы, т.к. не достигается достаточная для этого температура. Внешние слои звезды отстают в сжатии от ядра и по мере увеличения расстояния между ними уменьшается и сила их притяжения, в результате чего внешняя оболочка звезды начинает расширяться и остывать. Так звезда переходит на стадию *красного гиганта*. Окончанием этой стадии является превращение ядра звезды в белый карлик и сбрасывание внешней оболочки, из которой образуется планетарная туманность. Белый карлик продолжает светить еще несколько миллионов лет за счет теплового излучения, после чего остыв превращается в черного (коричневого) карлика. Так завершают свою эволюцию Солнце и звезды, подобные Солнцу.

Планетарная туманность – астрономический объект, состоящий из ионизированной газовой оболочки и центральной звезды, белого карлика. Планетарные туманности образуются при сбросе внешних слоев (оболочек) красных гигантов и сверхгигантов с массой 2,5-8 солнечных на завершающей стадии их эволюции.

Эволюция звезды на последних стадиях жизни при массе больше 1,5 масс Солнца. Такие звезды проводят на стадии главной последовательности всего несколько сотен миллионов лет. После прекращения термоядерных реакций в ядре, звезда начинает сжиматься под действием гравитационных сил. При этом ядро также сжимается быстрее, чем внешние слои, которые в итоге начинают расширяться и звезда переходит в стадию *красного сверхгиганта*. Температура в сжимающемся ядре резко возрастает и в ядре скачкообразно образуется железо. Далее если масса звезды не более 3-4 масс Солнца, то под действием высокого давления в ядре происходит «вдавливание» электронов в ядра атомов, что приводит к образованию *нейтронной звезды*. Процесс резкого сжатия ядра звезды в компактный объект называется гравитационным коллапсом и сопровождается

мощным взрывом и разбрасыванием остаточного вещества (взрыв или вспышка сверхновой). Вспышка *сверхновой* – это взрыв массивной звезды на конечной стадии эволюции, вызывающий резкое кратковременное усиление ее яркости. В результате взрыва происходит выброс энергии, который на короткое время превосходит в яркости всю остальную галактику. В течение нескольких недель или месяцев сверхновая может излучить энергии больше, чем Солнце за всю жизнь. В результате взрыва звездное вещество выбрасывается во всех направлениях, обогащая галактику тяжелыми элементами и создавая взрывную волну. К примеру, в 1054 году вспыхнула очень яркая звезда в созвездии Тельца, которая наблюдалась на небе невооруженным глазом около месяца и является наблюдаемым проявлением взрыва сверхновой. После вспышки сверхновой остается слабосветящаяся быстро вращающаяся нейтронная звезда – пульсар и расширяющаяся с большой скоростью диффузная туманность. *Пульсар* – это космический источник радио, оптического, рентгеновского и/или гамма-излучений, приходящих на Землю в виде периодических всплесков (импульсов). В зависимости от испускаемого излучения пульсары бывают следующих разновидностей: радиопульсар, оптический пульсар, рентгеновский пульсар, гамма-пульсар. Согласно доминирующей астрофизической модели, пульсары представляют собой вращающиеся нейтронные звезды с магнитным полем, которое наклонено к оси вращения, что вызывает модуляцию приходящего на Землю излучения.

В случае, если масса звезды больше 3-4 масс Солнца, то стадия главной последовательности длится для такой звезды всего несколько сотен миллионов лет. Затем она превращается в красный сверхгигант, после чего происходит гравитационный коллапс со вспышкой сверхновой. Ядро звезды при этом сжимается в черную дыру, около которой согласно общей теории относительности идет искривление пространства (вопрос о черных дырах подробно рассмотрен ранее в теме «Пространство и время. Специальная и общая теории относительности»).

Происхождение и эволюция Солнечной системы и Земли

Согласно теории эволюции звезд Солнце образовалось 5 млрд. лет назад из газопылевой туманности. Существует множество гипотез образования Солнца и планет. Мы рассмотрим наиболее значимые из них в их историческом развитии.

Гипотеза Канта-Лапласа. Это первая достойная внимания научная версия происхождения солнечной системы. Изначально она была предложена И. Кантом в 1755 году и заключалась в том, что Солнечная система образовалась из холодной туманности, сначала Солнце, позже планеты. Примерно в это же время П. Лаплас предложил свою гипотезу, в которой утверждал, что Солнечная система образовалась из горячей туманности (1500°C), причем планеты раньше Солнца. Оба ученых предполагали образование Солнечной системы из рассеянного вещества, поэтому принято говорить о единой гипотезе Канта-Лапласа. Эта предствление долгое время господствовало в научном сообществе. Но гипотеза имела некоторые нерешенные проблемы, например, не могла объяснить наблюдаемое медленное вращение Солнца.

Гипотеза Джинса. В 20-30-х г.г. XX в. научное признание получила другая гипотеза, выдвинутая английским астрономом Дж. Джинсом. Он считал, что мимо уже существовавшего Солнца пролетела другая звезда, которая вырвала из него вещество, из которого образовались планеты. Однако гипотеза Джинса не могла объяснить почему в таком случае планетная система имеет огромные размеры (вырванное вещество должно было находиться в непосредственной близости от Солнца) и почему вырванное вещество не рассеялось будучи очень горячим. После критики гипотезы Джинса космогония снова вернулась к классическим взглядам Канта-Лапласа.

Гипотеза Шмидта. О.Ю. Шмидт (1943 г.) предположил, что планеты были аккумулярованы из роя холодных тел и частиц, который был захвачен Солнцем или образовался вместе с ним. Согласно экспериментальным данным планеты земной группы не могли так же как и Солнце образоваться из одной газовой или газополевой туманности. Так как на Земле, Венере и Марсе наблюдается большой дефицит тяжелых инертных газов Ne, Ar (за исключением радиогенного изотопа

^{40}Ar), Kr и Xe, тогда как Солнце отличается большим содержанием этих элементов. Все это указывает на то, что планеты земного типа должны были образоваться путем аккумуляции твердого вещества. Согласно гипотезе Шмидта сначала образовались планеты земного типа, и только через несколько сотен миллионов лет газовые гиганты. Естественное объяснение в теории О.Ю. нашли представления о происхождении астероидов и комет. В одной из своих последних статей О.Ю. рассматривал пояс астероидов как несформировавшуюся планету, затем эта мысль была подкреплена расчетами возмущений со стороны тел, формировавшихся в соседней с астероидами зоне Юпитера. Все планеты-гиганты участвовали в формировании отдаленных облаков комет, забрасывая туда допланетные тела своими гравитационными возмущениями.

Благодаря О.Ю.Шмидту отечественная планетная космогония того времени опередила развитие космогонии Западных стран на 10—15 лет.

Гипотезы Хойла, Шацмана и Камерона. В 60-х гг. XX в. возникли приближенные количественные описания совместного образования Солнца и протопланетного облака (Ф. Хойл, Великобритания, 1960 г.; А. Камерон, США, 1962 г.; Э. Шацман, Франция, 1967 г.). Во всех этих теориях предполагалось, что от сжимающегося протосолнца произошло отделение вещества в результате наступившей ротационной неустойчивости Солнца, из этого вещества образовались планеты.

Современные представления о происхождении Солнца и планет. Гипотеза О.Ю. Шмидта признается сейчас наиболее достоверной и развитой научной версией происхождения Солнечной системы. Но наука не стоит на месте и новые открытия вносят свои дополнения. Начиная с 60-70-х гг. XX в. ученые активно стали проводить лабораторные исследования метеоритов, которые в течении своей жизни не подвергались сильному нагреву и соответственно несут информацию о «первовеществе». При этом в них было обнаружено присутствие продуктов распада изотопов ^{129}I и ^{244}Pu , которые являются естественными продуктами нуклеосинтеза при вспышке сверхновых (а для Pu это единственный известный естественный способ образования). Так возникло предположение о том, что не далеко от газовой

пылевого облака, из которого образовалось протосолнце с протопланетным диском, произошел взрыв сверхновой, который и обогатил облако продуктами нуклеосинтеза. А. Камерон и С. Труран (США, 1970г.) предположили, что взрыв близко расположенной сверхновой также способствовал сжатию протосолнечной туманности. Эта идея о происхождении Солнечной системы не является окончательной и абсолютно доказанной, но тем не менее популярна в современной науке, так как наиболее удачно описывает современные наблюдения.

Происхождение Земли. Земля была образована примерно 4,6 млрд. лет назад из допланетного тела (планетезимали). По исследованиям грунта радиолокационными методами возраст Земли составляет 4,54 миллиарда лет (4540 ± 50 млн. лет). Сутки в то время на Земле были заметно короче, но с увеличением массы Земли вращение замедлилось. Из-за вращения в Земле происходило перераспределение химических элементов: более тяжелые оказались в ядре и мантии, более легкие – в земной коре, а из самых легких впоследствии образовались гидросфера и атмосфера. В недрах Земли происходил радиоактивный распад, следствием которого была вулканическая деятельность, разогревающая Землю.

3,5 млрд. лет назад внешнее ядро Земли уже должно было существовать и было расплавленным, т.к. именно с этого времени породы земной коры обнаруживают остаточную намагниченность. К этому времени, считается, что Земля уже обладала ядром, мантией, и прототипом современной коры, которая разделялась на континентальную и океаническую. Существовали водная и воздушная оболочки.

В период 3,5-2,5 млрд. лет назад произошло возникновение собственно континентальной коры. В это время на Земле существовали суперконтинент Ваальбара и мировой океан.

В течение 3,0-0,2 млрд. лет назад произошло охлаждение коры, из-за чего она стала более хрупкой. В это время с периодичностью около 600 млн. лет несколько раз происходило дробление единого суперконтинента на отдельные континенты и соединение их обратно в новые суперконтиненты, которые получили названия

Колумбия (существовал около 1,8 до 1,5 млрд. лет назад), Родиния (1,1-0,75 млрд. лет назад), Пангея (300-180 млн. лет назад).

Около 0,2 млрд. лет назад (в юрском периоде) произошел окончательный распад Пангеи на два ранее существовавших суперконтинента - Гондвану и Лавразию. Позже северный континент Лавразия раскололся на Евразию и Северную Америку, в то время как из южного континента Гондвана образовались Африка, Южная Америка, Индия, Австралия и Антарктида. В это время началось формирование современного рельефа Земли.

Луна должна была возникнуть ненамного позже рождения Земли, как об этом свидетельствует возраст ее древнейших пород – 4,4 млрд. лет. В отношении происхождения Луны наиболее популярна теперь гипотеза (У. Хартманн и Д. Девис, 1975), согласно которой она образовалась из материала, выброшенного при ударе, вызванном столкновением Земли с крупным космическим телом, по размеру близкого к размерам Марса. Хотя сейчас существуют не менее достойные гипотезы образования Луны на орбите Земли из остатков допланетного вещества или захват Землей молодой Луны.

Атмосфера Земли. Первичная атмосфера Земли образовалась вследствие вулканической деятельности и была восстановительной. Содержала следующие газы: CO_2 , NH_3 , HCN , CH_4 , H_2O . Около 2 миллиардов лет назад в атмосфере появился кислород, так как микроорганизмы стали производить его в процессе фотосинтеза. Но за последние 200 млн. лет состав атмосферы практически не изменился. Ее современный состав выглядит следующим образом:

- Сухой воздух – $\text{N}_2 \approx 78\%$, $\text{O}_2 \approx 21\%$;
- Инертные газы $\approx 0,98\%$ ($\text{Ar} \approx 0,9\%$);
- $\text{CO}_2 \approx 0,032\%$.

Выделяют следующие слои атмосферы: тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу и экзосферу, постепенно переходящую в межпланетное пространство (рис. 19). В тропосфере и мезосфере температура с высотой понижается, а в стратосфере и термосфере, наоборот, повышается.

Тропосфера содержит 4/5 всей массы атмосферного воздуха. Здесь образуются облака и выпадают осадки. Тропосфера нагревается в результате отражения земной поверхностью солнечной радиации. Поэтому в тропосфере температура воздуха с высотой обычно понижается. Но если земная поверхность отдает воздуху больше теплоты, чем за то же время получает, она охлаждается, от нее охлаждается и воздух над ней, и в этом случае температура воздуха с высотой повышается. Это можно наблюдать летом в ночное время.

В стратосфере газовый состав воздуха приблизительно таков же, как и в тропосфере. Отличительная особенность – уменьшение концентрации водяного пара и повышение содержания озона. Озоновый слой атмосферы, защищающий биосферу от агрессивного воздействия ультрафиолетового света, находится на уровне от 20 до 30 км. В стратосфере температура повышается с высотой, причем температурные значения определяются солнечным излучением, а не конвекцией (перемещениями воздушных масс), как в тропосфере. Нагревание воздуха стратосферы обусловлено поглощением ультрафиолетового излучения озоном.

Мезосфера характеризуется тем, что температура по мере увеличения высоты понижается от 0° С до - 90° С. Это наиболее холодная область атмосферы.

В слое термосферы от границы с мезосферой до экзосферы температура меняется примерно от 200 К до 2000 К и зависит от степени солнечной активности. До уровня 500 км плотность воздуха убывает в несколько сотен тысяч раз. Относительный состав атмосферных составляющих термосферы аналогичен приземному слою тропосферы, но с увеличением высоты большее количество кислорода переходит в атомарное состояние. Определенная доля молекул и атомов термосферы находится в ионизированном состоянии и распределены в нескольких слоях, они объединяются понятием ионосфера.

Верхний слой атмосферы – экзосфера. Это самый разреженный слой атмосферы. Масса экзосферы составляет одну десятимиллионную от общей массы атмосферы. Экзосфера состоит из плазмы – ионизированного газа.

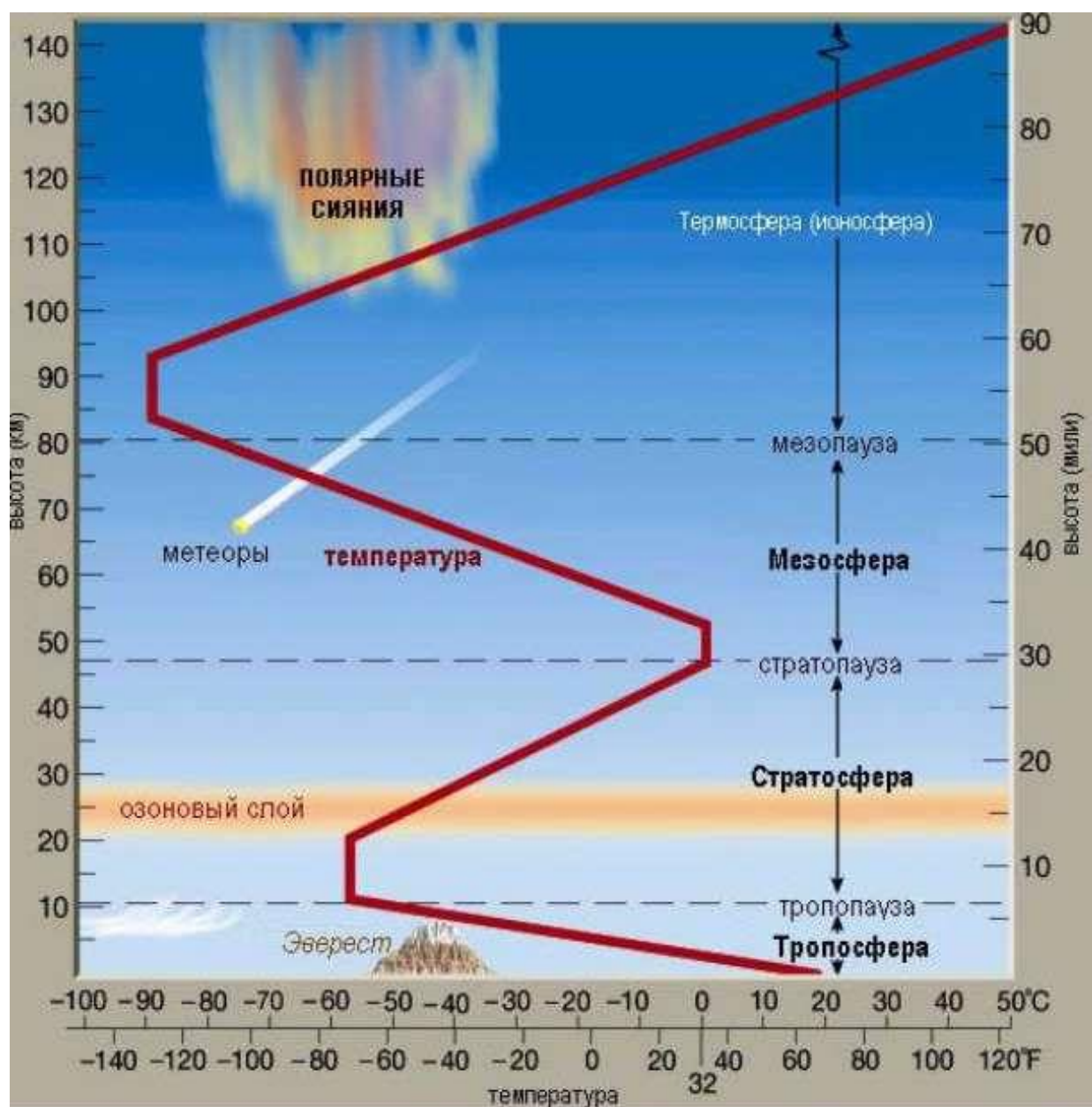


Рис. 19. Атмосфера Земли

Гидросфера Земли. Это водная оболочка Земли, ее состав отражен на рис. 20. Согласно одной из популярных гипотез, Земля на определенной стадии захватила очень много льда, в частности, из ядер комет, падавших тогда на Землю значительно чаще, чем сейчас. Это так называемая *теория космического происхождения воды на Земле*.

Состав гидросферы

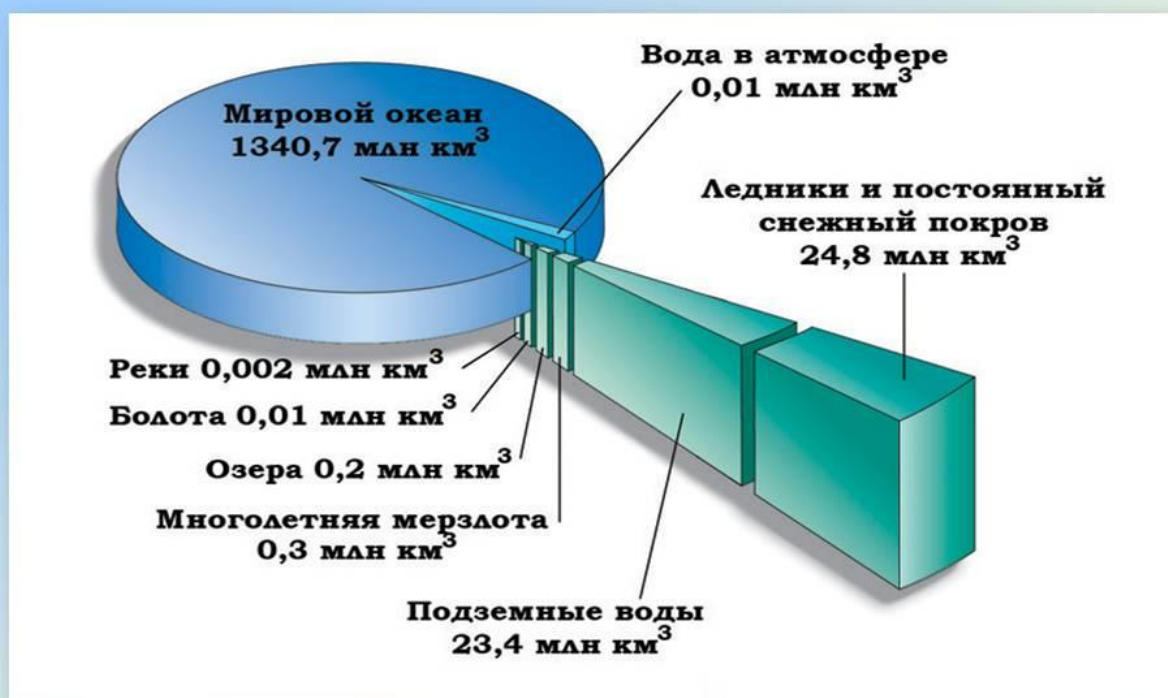


Рис. 20. Состав гидросферы Земли

Литосфера Земли и внутреннее строение (рис. 21). Радиус ядра составляет около 55% от радиуса Земли. Внутреннее твердое ядро содержит железо, никель и тяжелые радиоактивные элементы. Во внешнем жидком ядре – железо, никель, в мантии – кислород, кремний и магний, земной коре – кислород, кремний, алюминий и железо. В мантии сосредоточена основная часть массы – около 68%.

Кора состоит, в основном, из осадочных пород: глина, песчаник, сланцы, граниты и базальты. Выделяют два основных типа земной коры: континентальная и океаническая. Пластичный слой верхней мантии, на которой лежат литосферные плиты, называется астеносферой. Литосферные плиты находятся в постоянном движении относительно друг друга. Современная геологическая теория о движении литосферы называется тектоникой плит.

Строение Земли

	Толщина	Состав
Кора	Около 35 км, в океанических областях меньше	Граниты и базальты.
Мантия	2900 км	Твердые кремниевые породы, окислы кремния и магния.
Внешнее ядро	2250 км	Жидкое состояние вещества
Внутреннее ядро	1220 км (радиус)	Твердые железо и никель.

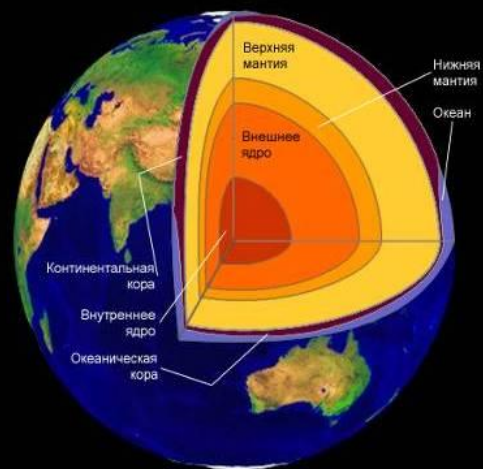


Рис. 21. Внутреннее строение Земли

Основные ее положения сводятся к следующему. Литосфера подстилается менее вязкой астеносферой. Литосфера разделена на ограниченное число больших и малых плит, границы которых проводятся по сгущению очагов землетрясений. К числу крупных плит принадлежат: Тихоокеанская, Евразийская, Северо-Американская, Южно-Американская, Африканская, Индо-Австралийская, Антарктическая. Литосферные плиты, движущиеся по астеносфере, обладают жесткостью и монолитностью. Причиной перемещения литосферных плит считается тепловая конвекция в мантии Земли.

Земля обладает гравитационным, магнитным и электрическим полями.

Магнитное поле Земли. Магнитное поле складывается из двух составляющих: одна из них, главная (99%), очень медленно меняющаяся, существующая за счет металлического ядра Земли, другая, переменная составляющая (1%), связана с магнитным излучением Солнца. Магнитные полюса

Земли смещены по отношению к географическим. В период от нескольких сотен тысяч до нескольких миллионов лет происходит «переполусовка» (инверсия магнитных полюсов). Точные причины этого явления до сих пор не установлены. Считается, что последняя смена магнитных полюсов происходила на Земле около 700 тыс. лет назад.

Электрическое поле Земли. Поверхность земного шара заряжена отрицательно, а атмосфера заряжена положительно. В среднем напряженность земного электрического поля $E=130$ В/м. С высотой напряженность падает. Полная разность потенциалов между поверхностью Земли и ионосферой составляет 400 тысяч вольт. Грозовые разряды не дают электрическому заряду Земли уйти в космос. 1 удар молнии возвращает земле 20-30 Кл отрицательного электричества.

Вопросы и задания для контроля знаний по теме:

1. Дайте описание основных звездных характеристик.
2. Раскройте основные этапы эволюции звезд.
3. Что такое планетарная туманность, сверхновые звезды и пульсары?
4. Каково строение и химический состав планеты Земля?
5. Как исторически менялись представления о происхождении и эволюции Солнечной системы?

СОВРЕМЕННЫЕ КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Космология – это наука о свойствах и эволюции Вселенной.

Первые научные космологические модели были предложены советским ученым А. Фридманом. Фридман разработал на основании общей теории относительности Эйнштейна три модели развития Вселенной. Эйнштейн же сам считал, что Вселенная стационарна, т.е. не меняется во времени. Решая уравнение Эйнштейна, Фридман получил три решения, согласно которым вселенная может или расширяться, или сужаться (сжиматься), или же пульсировать. Сам Фридман больше разделял модель расширения (принята сегодня).

В 1917 году В. Слайферу с помощью спектрографа удалось обнаружить красное смещение в спектре галактики М31 в созвездии Андромеды. Это открытие имело огромное значение, так как явилось доказательством расширения вселенной. Еще в середине XIX века австрийский физик К. Доплер показал, что при удалении источника света происходит смещение спектра в длинноволновые области (красное смещение), при приближении – в сторону коротких волн (фиолетовое или синее смещение). В 1929 году Э. Хаббл заинтересовался красным смещением Слайфера и обнаружил, что все далекие галактики имеют красное смещение спектра, а значит, все они согласно доплеровскому эффекту удаляются. Последние данные показывают, что расширение Вселенной на данный момент происходит с ускорением, обусловленным влиянием темной энергии.

Закон Хаббла: Чем дальше от нас находятся галактики, тем больше для них значение красного смещения. Иначе, чем дальше от нас галактика тем быстрее она удаляется.

$$v = Hr$$

Здесь v – скорость галактики, H – постоянная Хаббла, r – расстояние до галактики. По современным оценкам, сделанным по наблюдениям на космическом телескопе «Планк», H имеет значение $67,80 \pm 0,77$ (км/с)/Мпк.

$$H = \frac{1}{\tau}$$

Здесь τ – время жизни Вселенной. $\tau = 13,798 \pm 0,037$ млрд. лет.

На основании модели расширения вселенной Г.А. Гамов в 30- 40-е г.г. разработал знаменитую *теорию Большого Взрыва*. Он считал, что до Большого Взрыва в начальный момент своего существования, вселенная находилась в сверхплотном и сверхгорячем состоянии, называемом *сингулярностью*: плотность 10^{19} г/см³, температура 10^{32} К. Далее примерно 13-14 млрд. лет назад, произошел переход от сингулярности к расширению, называемый Большим Взрывом. Основные этапы эволюции Вселенной согласно теории Большого Взрыва отражены на рис. 22.

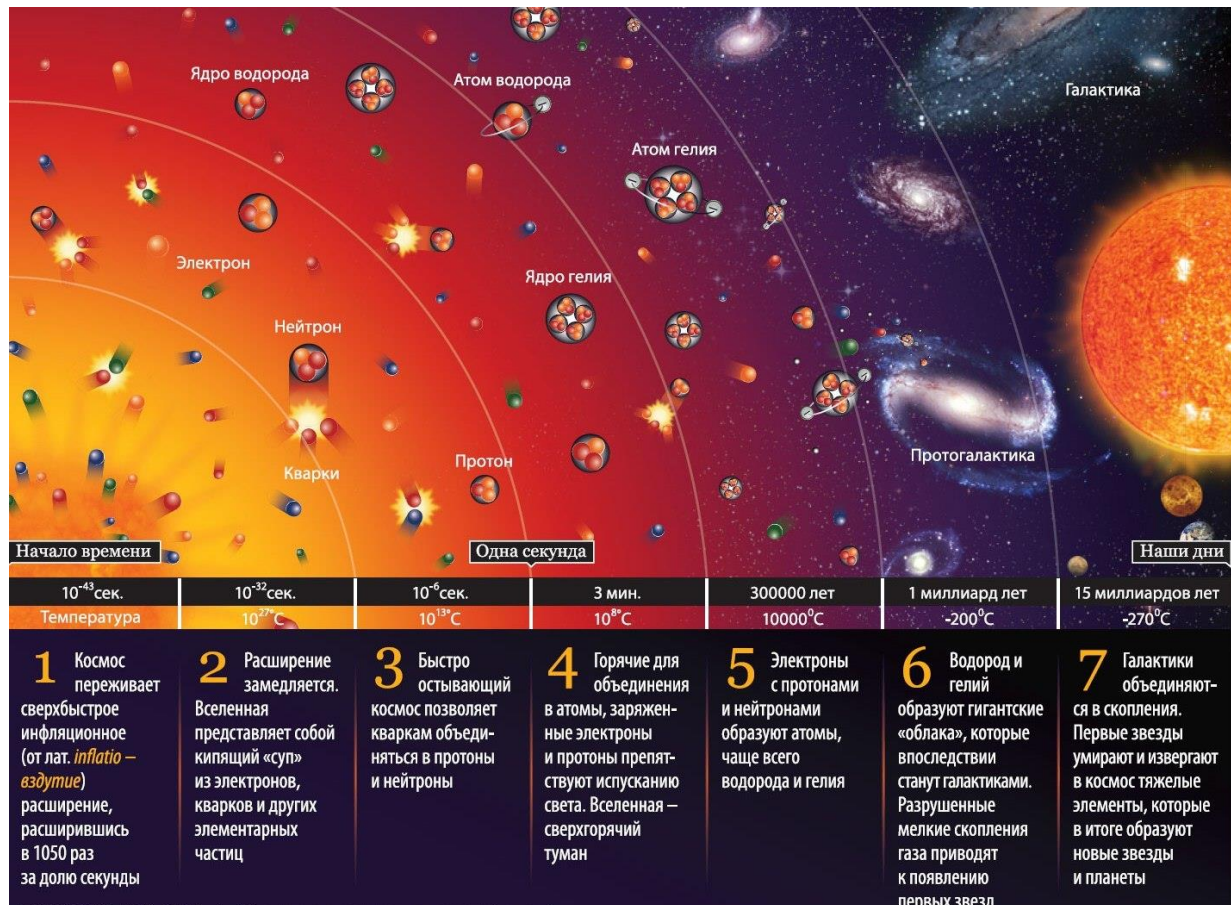


Рис. 22. Иллюстрация к теории Большого Взрыва

По этой модели выделяются несколько эпох развития Вселенной.

Планковская эпоха (от Большого Взрыва до $\tau=10^{-43}$ с). В это время все физические силы были объединены в одну, а материя Вселенной состояла из физического вакуума. В конце этой эпохи гравитация выделилась в виде самостоятельного гравитационного взаимодействия.

Эпоха великого объединения ($\tau=10^{-43}$ - 10^{-35} с). Сильное, слабое и электромагнитное взаимодействия продолжали существовать в виде единой силы. В конце эпохи сильное (ядерное) взаимодействие стало самостоятельным, и начали образовываться первые самые простейшие элементарные частицы.

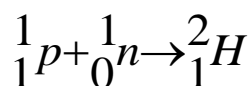
Инфляционная эпоха ($\tau=10^{-35}$ - 10^{-32} с). Вселенная очень быстро расширяется до почти современных размеров.

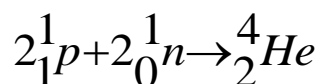
Электрослабая эпоха ($\tau=10^{-32}$ - 10^{-12} с). Вселенная состоит из самых простых элементарных частиц – кварков и глюонов, образующих своеобразную жидкость «кварк-глюонную плазму». За счет высоких температур и энергий образуются экзотические частицы – бозоны, в том числе бозон Хиггса. В конце эпохи происходит разделение слабого и электромагнитного взаимодействий.

Кварковая эпоха ($\tau=10^{-12}$ - 10^{-6} с). Вся Вселенная заполнена кварк-глюонной плазмой.

Адронная эпоха ($\tau=10^{-6}$ - 100 с). Это эра образования тяжелых частиц - адронов из кварков. Вселенная состояла из барионов, в том числе нейтронов и протонов и антибарионов, происходили реакции аннигиляции этих частиц. За счет нарушения симметрии в результате этих реакций сейчас число частиц вещества примерно в миллиард раз преобладает над античастицами.

Лептонная эпоха ($\tau=100$ с-3 мин). Эра образования легких частиц – лептонов и антилептонов (электронов, позитронов, нейтрино), которые в конце эпохи тоже аннигилировали (взаимоуничтожались). В это время, пока температура Вселенной составляла несколько миллионов градусов, наступила эпоха первичного нуклеосинтеза, стали образовываться устойчивые ядра водорода и гелия:





За сто секунд, в течение которых происходили эти реакции, образовалось около 25% гелия и небольшое число более тяжелых ядер до бора, оставшееся вещество – водород.

Протонная эпоха ($\tau=3$ мин-380000 лет). Вещество, состоящее из адронов и лептонов, начинает доминировать над излучением. Энергия фотонов уменьшается по сравнению с предыдущими эпохами, длина волны излучения увеличивается, и они переходят в рентгеновское и ультрафиолетовое излучение. В конце эпохи за счет уменьшения плотности вещества Вселенная становится прозрачной для излучения, фотоны света могут свободно распространяться в пространстве в виде различных электромагнитных излучений – рентгеновского, ультрафиолетового, светового, инфракрасного, радиоволн.

Реликтовое фоновое (то есть самой Вселенной) излучение, которое отделилось от вещества в протонную эпоху, было обнаружено в 1965-м году Арно Пензиасом и Робертом Вильсоном. Температура этого излучения равна средней температуре космоса 2,7 К, длина волны составляет порядка 1 мм. Обнаружение реликтового излучения является одним из наблюдательных доказательств теории Большого Взрыва.

Атомная эпоха ($\tau=380000$ -550 млн. лет). Все вещество Вселенной состояло из водорода, гелия и было заполнено реликтовым излучением. Никаких ярких источников излучения (звезд, галактик) еще не было. Температура снизилась настолько, что начали образовываться атомы водорода и гелия – электроны захватывались ядрами этих элементов (это называется рекомбинацией), поэтому время с момента разделения света и вещества еще называют эпохой рекомбинации.

Звездная эпоха (с 550 млн. лет до сих пор). Водородно-гелиевая Вселенная, как самоорганизующаяся система, начала расслаиваться, образуя флуктуации плотности вещества, которое начало закручиваться под действием гравитационных сил, образуя звезды, галактики и т.п. Вещество начало светиться за счет ионизации от света звезд.

В настоящее время считается, что вещество во Вселенной распределено равномерно, т.е. Вселенная однородна и изотропна. Модель Гамова не способна объяснить такую изотропность вещества Вселенной.

Рассматривается еще одна теория образования Вселенной – теория инфляции, или теория раздувания Вселенной. Основывается она на последних достижениях в изучении свойств элементарных частиц, открытии физического вакуума. По современным представлениям физический вакуум не содержит реальные частицы, но обладает энергией, носителями которой предполагаются виртуальные, коротко живущие частицы, чрезвычайно быстро аннигилирующие и рождающиеся в паре частица-античастица. Согласно теории инфляции в начальный момент Вселенная существовала в виде физического вакуума, в котором не было реального вещества, но он обладал огромной энергией. Не сдерживаемая гравитацией из-за отсутствия вещества, за 10^{-35} секунды Вселенная раздувается до размеров метagalактики, после чего через 10^{-31} секунды из физического вакуума возникает вещество с плотностью 10^{42} г/см³ и температурой 10^{28} К. Теория инфляции расходится с теорией Большого взрыва только по вопросу о начальном состоянии Вселенной, далее их предсказания совпадают.

Наиболее важными доказательствами состоятельности теории Большого Взрыва являются:

1. Процесс разбегания галактик, открытый Хабблом.
2. В 60-е годы 20 века были открыты самые далекие галактики - квазары, которые являются самыми молодыми объектами Вселенной.
3. В 1965 годы было открыто явление реликтового излучения, которое представляет собой первое древнейшее излучения, возникшее в эпоху рекомбинации - разделения света и вещества.
4. Современный химический состав Вселенной соответствует эпохе древних ядерных реакций.
5. Современный материальный состав Вселенной, который указывает на наличие во Вселенной темной энергии. Нынешний состав Вселенной:

74% невидимая темная энергия, 22% - темная материя, 4% - видимое вещество.

6. Современная средняя температура вселенной составляет примерно 2,7 К.

Подводя итоги, хочется отметить, что по современным представлениям расширяющаяся Вселенная состоит из следующих составляющих:

1. Светящееся вещество (галактики, звезды, планеты, межзвездные газ и пыль) – барионная форма существования материи, составляющая около 4 % Вселенной.

2. Темная (скрытая) материя – вид материи, природа которого точно неизвестна ученым (предполагается, что его образуют неизвестные массивные частицы), но его масса в несколько раз больше обычного вещества (около 22 %).

3. Темная энергия – особая материя, имеющая очень низкую плотность и по своим свойствам близкая к физическому вакууму, она равномерно заполняет всю Вселенную и ускоряет ее расширение (составляет около 74 % Вселенной).

Вопросы и задания для контроля знаний по теме:

1. Раскройте основные этапы развития Вселенной согласно теории Большого Взрыва.
2. Что является доказательствами теории Большого Взрыва?
3. Каковы главные проблемы теории Большого Взрыва?
4. В чем суть теории инфляции?
5. Опишите космологические модели Фридмана. Какова современная точка зрения на данный вопрос?

КОНЦЕПЦИИ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

Вопрос о происхождении жизни на Земле всегда интересовал человечество. В различные периоды человеческой истории господствовали самые разные представления по этому вопросу. Рассмотрим основные концепции и попытаемся оценить степень их научной достоверности.

Основные концепции происхождения жизни на Земле

К исторически наиболее значимым концепциям происхождения жизни относят:

- 1) креационизм (религиозная концепция), который объясняет появление жизни на Земле в результате акта сотворения сверхъестественным творцом;
- 2) концепцию стационарного состояния, согласно которой жизнь никогда не создавалась, так как существовала всегда;
- 3) концепцию самопроизвольного спонтанного зарождения жизни, основывающуюся на идее о возможности постоянного возникновения жизни из неживого вещества;
- 4) концепцию панспермии, которая утверждает, что жизнь принесена на Землю из космоса;
- 5) концепцию закономерного происхождения жизни путем абиогенеза и биохимической эволюции или теория Опарина-Холдейна (современная научная теория происхождения жизни на Земле).

Такое разнообразие взглядов кроется в чрезвычайной сложности изучаемого вопроса. Точно воспроизвести процесс зарождения жизни не возможно, хотя бы потому, что у природы на это ушло миллиарды лет.

Первая концепция по своему содержанию не является научной, т.к. представляет собой религиозное видение того, как появился весь окружающий нас мир, в том числе и жизнь. Следующие две концепции опровергнуты современной наукой. Вторая концепция утверждает, что жизнь на Земле, как и сама Земля и Вселенная (стационарная Вселенная), существовали всегда в неизменном виде.

Сторонники этой концепции предполагают, что со временем только менялась численность особей тех или иных видов, некоторые виды исчезали с лица Земли, но никакой эволюции в виде видообразования не происходила. Конечно, такая концепция опровергается теорией эволюции, имеющей палеонтологическую и генетическую доказательную базу. Третья концепция зародилась еще в Древнем Китае, Вавилоне и Древнем Египте и стала альтернативой креационизму. Базируется она на вере в некоторую всепроникающую субстанцию «жизненную силу» под действием которой из неживого может возникать живое. Такие идеи имели множество сторонников вплоть до XIX века. Всерьез считалось, что мухи рождаются из гниющего мяса, крысы из грязного белья, лягушки из тины и т.д. Окончательно опроверг эту концепцию Луи Пастер в 1860 году, проведя ряд опытов (схема опытов на рис. 23), доказывающих, что микробы не способны самозарождаться, а всегда попадают в любую среду извне.

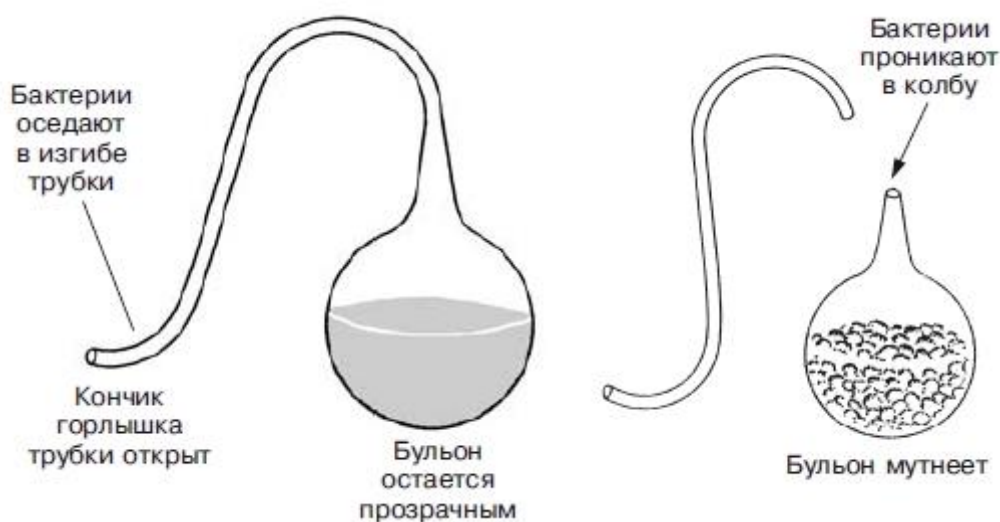


Рис. 23. Опыты Л. Пастера

Он помещал различные прокипяченные питательные среды, где в результате кипячения погибали микробы, в колбу с горлышком в виде вытянутой изогнутой трубки. Такая S-образная форма горлышка не давала проникнуть в колбу микробам извне, но обеспечивала доступ воздуха и «жизненной силы», если бы она была. Но микробы в колбе так и не самозародились. Тогда как в колбе с обычным открытым горлышком микробы появлялись. Современная интерпретация

этого опыта: ныне все живое на Земле рождается только от живого (биогенез). Однако результаты этого опыта не доказывают невозможность абиогенеза в историческом прошлом Земли при особых условиях, существовавших на ранней Земле.

Четвертая концепция, объединяет группу верований и гипотез о космическом происхождении жизни на Земле. Самый далекий от науки сценарий заключается в существовании в космосе неких «зародышей жизни» или «семян жизни». Такие объекты должны путешествовать по Вселенной и при попадании на планету с благоприятными условиями запускают процесс зарождения и развития жизни по заранее заложенной в них программе. С другой стороны сейчас многие ученые не исключают возможность, что некоторые микроорганизмы возможно способны выжить в условиях открытого космоса. Но каким образом, какие расстояния они способны преодолеть и как долго они способны жить в таких условиях, все это открытые вопросы. Таким образом, остается пятая концепция, и на ней мы остановимся подробнее.

Концепция закономерного происхождения жизни путем абиогенеза и биохимической эволюции (теория Опарина-Холдейна)

Эту концепцию разделяют большинство ученых сегодня, она является наиболее доказанной, хотя и в ней имеется множество пробелов. Эта концепция исходит из предположения о постепенном возникновении жизни на Земле из неорганических веществ путем длительной абиогенной (небиологической) молекулярной эволюции. Ее создателем является советский ученый А.И. Опарин, впервые ее положения он изложил в книге «Происхождение жизни», опубликованной в Советском Союзе в 1924 году и переведенной на английский язык в 1938 году. Его идеи разделил британский биолог Дж. Холдейн, который дал название органическим соединениям, заполнившим первичный океан – «первичный бульон». Состоятельность идеи абиогенеза была доказана позже в 1953 году, когда С. Миллер поместил смесь H_2O , NH_3 , CH_4 , CO_2 , CO в замкнутый сосуд и стал пропускать через нее электрические разряды при температуре 80 °C (т.о.

воспроизводились условия схожие с условиями на Земле во время предполагаемого возникновения жизни), в результате чего образовались аминокислоты. Позднее в разных условиях были получены также сахара и нуклеотиды.

Как известно, химические и физические условия на Земле делают ее уникальной в Солнечной системе. Возраст Земли около 4,6 млрд. лет, жизнь считается зародилась около 3,8 млрд. назад. Температура поверхности в начальный период образования Земли была 4000÷8000 °С. По мере того как Земля остывала, углерод и более тугоплавкие металлы конденсировались и образовали земную кору. Первичная атмосфера не содержала свободный кислород и состояла из водорода, соединения углерода (метан) и азота (аммиак). Отсутствие кислорода в атмосфере способствовало зарождению жизни, так как согласно экспериментальным данным органические вещества гораздо легче создаются в восстановительной среде, чем в окислительной.

Существуют три равноправных возможных способа синтеза природных органических веществ. Содержащие углерод и азот вещества могли возникать в расплавленных глубинах Земли и извергаться на земную поверхность при вулканической деятельности, попадая далее в океан (первый способ). По мнению А.И. Опарина органические вещества создавались также в океане из более простых соединений (второй способ) под действием энергии интенсивной солнечной радиации (в основном ультрафиолетовое излучение). В то время на Земле в атмосфере еще не было озонового слоя, который теперь задерживает большую часть солнечной радиации. Факторы, говорящие в пользу того, что в океанах Земли могли накопиться органические соединения: находящееся в океанах разнообразие простых соединений, 90% площади поверхности Земли, покрытая водой, доступность солнечной и радиоактивной земной энергии, а также огромный промежуток времени. Таким образом, сформировался «первичный бульон» из органических соединений, в котором могла возникнуть жизнь. Также органические соединения могли образоваться из неорганической космической пыли вокруг Земли (третий способ).

Следующим этапом после того, как углеродистые соединения образовали «первичный бульон», стало появление биополимеров – белков и нуклеиновых кислот, обладающих свойством самовоспроизводства себе подобных. Концентрация веществ, достаточная для дальнейшего образования биополимеров, могла возникнуть в результате осаждения органических соединений на глине или гидроокисижелеза, из которых состоял прогреваемый Солнцем ил мелководья. Также органические вещества, образовавшие на поверхности океана тонкую пленку, прибывались к берегу ветром и волнами, где собирались уже в толстые слои. Далее в местах накопления органических веществ формировались коацерваты – многомолекулярные системы органических веществ, отделенные от окружающей среды оболочкой из молекул сложных углеводов (прототип клеточной мембраны) и способные к росту за счет поглощения из окружающей среды разнообразных богатых энергией веществ. Между органическими веществами на данном этапе возможен примитивный отбор, который заключался в том, что из множества образующихся веществ сохранялись те, что были устойчивы к дальнейшему усложнению. Коацерваты по сути это этап, предшествующий клетке.

Началом жизни на Земле можно считать уже появление нуклеиновых кислот, способных к воспроизводству белков. Но, к сожалению, до сих пор неизвестно, как происходил переход от сложных органических веществ к простейшим живым организмам, от коацерватов к клетке. Объяснение возникновения способности живых систем к самовоспроизведению, что отличает в первую очередь коацерват от клетки, и является самой трудной задачей для этой концепции.

Появление клетки, как структурной единицы живого стало важнейшим этапом в организации жизни на Земле. Клеточное строение это главное отличие живого от неживого, объясняющее все остальные признаки живых организмов: способность к росту и самовоспроизведению, раздражимость и гомеостаз. В любой клетке одновременно происходят тысячи химических реакций, в результате чего она получает необходимые питательные вещества, синтезирует специальные биомолекулы и удаляет отходы. Синтез белков осуществляется в цитоплазме

клетки. Почти в каждой из клеток человека синтезируется свыше 10000 разных белков.

Важнейшую роль в протекании биологических процессов в клетке играют ферменты, которые часто обладают высокой специализацией, т.е. могут влиять только на одну реакцию. Молекулы реагирующих веществ стремятся присоединиться к активным участкам молекулы фермента, в результате чего повышается вероятность столкновения реагирующих молекул, значит, возрастает скорость химической реакции.

Величина клеток колеблется от микрометра до более одного метра (например, у нервных клеток, за счет отростков). Большая часть клеток дифференцированы (нервные, мышечные и т.д.), кроме стволовых, и большинство из них обладает способностью восстанавливаться, но некоторые, например, нервные практически не восстанавливаются.

Клетки могут быть как с наличием ядра (эукариотические клетки), так и без оформленного ядра (прокариотические). Первыми на Земле возникли как раз одноклеточные микроорганизмы, прокариоты. Примером клеток без ядер, но имеющих нити ДНК, являются нынешние бактерии и сине-зеленые водоросли. Они обладают свойствами: 1) подвижность; 2) питание и способность запасать пищу и энергию; 3) защита от нежелательных воздействий; 4) размножение; 5) раздражимость; 6) приспособление к изменяющимся внешним условиям; 7) рост. Возраст таких древних организмов около 3 млрд. лет.

Следующим этапом (приблизительно 2 млрд. лет тому назад) стало возникновение в клетке ядра. Такие одноклеточные организмы с ядром теперь называются простейшими, сейчас их существует 25-30 тыс. видов. Самыми примитивными из них являются амебы. Ядро простейших окружено двухмембранной оболочкой спорами и содержит хромосомы и нуклеоли. Ископаемые простейшие: радиолярии и фораминиферы – основные части осадочных горных пород. Многие простейшие обладают сложным двигательным аппаратом.

Примерно 1 млрд. лет тому назад появились первые многоклеточные организмы. Произошло разделение живой материи на растительный и животный мир. Первый важный результат растительной деятельности: фотосинтез – создание органического вещества из углекислоты и воды при использовании солнечной энергии, улавливаемой хлорофиллом. Возникновение и распространение растительности привело к коренному изменению состава атмосферы, ее насыщению свободным кислородом, который также является источником озона. Т.е. с появлением фотосинтезирующих организмов, возник важный для дальнейшего развития жизни озоновый слой, который стал задерживать большую часть жесткого ультрафиолетового излучения.

Тысячелетиями накапливавшиеся в земной коре остатки растений образовали грандиозные энергетические запасы органических соединений (уголь, торф), а развитие жизни в Мировом океане привело к созданию осадочных горных пород, состоящих из скелетов и других остатков морских организмов.

Вопросы и задания для контроля знаний по теме:

1. Какие существуют концепции происхождения жизни на Земле? Какая из них является современной научной точкой зрения?
2. Раскройте поэтапно современные представления о том, как возникла и эволюционировала жизнь на Земле.
3. Какие существуют экспериментальные доказательства абиогенеза?
4. Какими свойствами обладали первичные организмы Земли?

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ЭВОЛЮЦИИ ЧЕЛОВЕКА

Антропогенез – это процесс исторического и эволюционного формирования человеческого вида, развития его трудовой деятельности, речи, а также появления человеческого общества. Изучением антропогенеза занимаются сразу несколько дисциплин, среди которых ключевую роль играют палеоантропология и генетика.

По современным представлениям, которые основаны на пионерских работах Ч. Дарвина, люди произошли от обезьяноподобных предков. Эти существа не были ни обезьянами, ни людьми в современном понимании. В ходе эволюции сначала от общей ветви приматов отделились мартишковые обезьяны, а далее разошлись пути человекообразных обезьян и людей. По зоологической классификации человек относится к отряду приматов и выделяется в нем в отдельное семейство – гоминиды, к которому принадлежат современный человек и его вымершие предки.

В своей книге «Происхождение человека и половой отбор» (1871 г.) Дарвин предложил первую гипотезу происхождения человека от высших обезьян в течение последних миллионов лет кайнозойской эры. В этой теории Дарвин провел сравнительный анализ человека и млекопитающих (обезьян). Дарвин вслед за англичанином Томасом Гексли отметил, что они имеют:

- одинаковый план строения тела, одинаковые ткани, органы (анатомическое строение);
- развитие зародыша человека и животных;
- одинаково высокая сложность и функции органов, схожие физиологические и психологические процессы;
- человек и животные часто болеют одинаковыми болезнями.

В XX веке получено много новых данных, подтверждающих эту теорию:

- палеонтологические (найденно большое количество останков разных форм предков человека, использованы новые методы определения их возраста);
- этологические (схожесть поведения);

- в области сравнительной биохимии и микробиологии (одинаковый химический состав крови и органов, процентное содержание некоторых характерных для человека белков, например, преципитата, увеличивается с увеличением «степени родства» с человеком);
- в области молекулярной биологии и генетики – (идентичное молекулярно-генетическое строение – так, структура ДНК шимпанзе и человека совпадают на 99.4%, так, отличия генома человека от генома шимпанзе включают 35 миллионов замен отдельных нуклеотидов, 5 миллионов удалений и вставок, слияние двух хромосом и девять хромосомных инверсий, т. е. различия составляют всего 1-2%).

Также с биологической точки зрения у человека мощно развитая мускулатура нижних конечностей, сводчатая стопа с сильно развитым первым пальцем, подвижная кисть руки, позвоночник с четырьмя изгибами, прямохождение, очень большой и объемистый мозг.

В эмбриональном развитии человека есть черты, характерные для всех представителей типа Хордовые: хорда, нервная трубка на спинной стороне зародыша. Развитие позвоночника, наличие двух пар конечностей, положение сердца на брюшной стороне тела говорят о его принадлежности к подтипу Позвоночные. Четырехкамерное сердце, теплокровность, выкармливание детенышей молоком, волосяной покров указывают на принадлежность человека к классу Млекопитающие. Развитие плода в теле матери и питание его через плаценту характерно для подкласса Плацентарные

Животное происхождение человека в ходе длительной эволюции позвоночных также подтверждается рядом свойств, наблюдаемых в ходе эмбрионального развития. Именно на начальных этапах этого периода у человека закладывается двухкамерное сердце, шесть пар жаберных дуг, хвостовая артерия – признаки рыбообразных предков. От амфибий человек унаследовал плавательные перепонки между пальцами, которые есть у зародыша. Слабая терморегуляция детей до пяти лет указывает на присутствие

среди предков холоднокровных пресмыкающихся. Головной мозг плода гладкий, без извилин, как у первых млекопитающих мезозойской эры.

Дарвин указал на эволюционный характер развития человека, существенное влияние естественного отбора при его формировании как вида, указал на вклад социальных условий. В настоящее время ученые выделяют следующие основные отличия человека от животных:

1. высокоразвитая и очень разнообразная речь (наличие второй сигнальной системы);
2. высокоразвитый и очень сложный мозг, способность к абстрактному мышлению и разумная деятельность;
3. использование огня, создание орудий труда, возможность их совершенствования и воспроизведения на основе предыдущего опыта (к примеру, по чертежам);
4. создание предметов культуры (литературных, художественных и музыкальных произведений).

Эволюционное древо человека

На рисунке 24 изображено сложное эволюционное древо человека, с большим количеством ответвлений и тупиковых ветвей эволюции. Здесь представлены все имеющиеся на сегодня археологические находки промежуточных форм в истории эволюции человеческого вида.

Находка черепа Сааданиуса (Саудовская Аравия в 2009 г.) достойна первого упоминания, т. к. именно он считается представителем последнего общего предка гоминоидов и мартышковых. Гоминоиды это человекообразные обезьяны и люди. Считается, что примерный срок разделения двух ветвей (гоминоидов и мартышковых обезьян) это примерно 29-28 млн. лет назад.

Проконсулы – самые древние гоминоиды, жившие 18-15 млн. лет назад, от них произошел *коратпитек* (13,5-10 млн. лет назад), который, как предполагается, является предком орангутанга. Останки найдены в Таиланде в 2003 году.

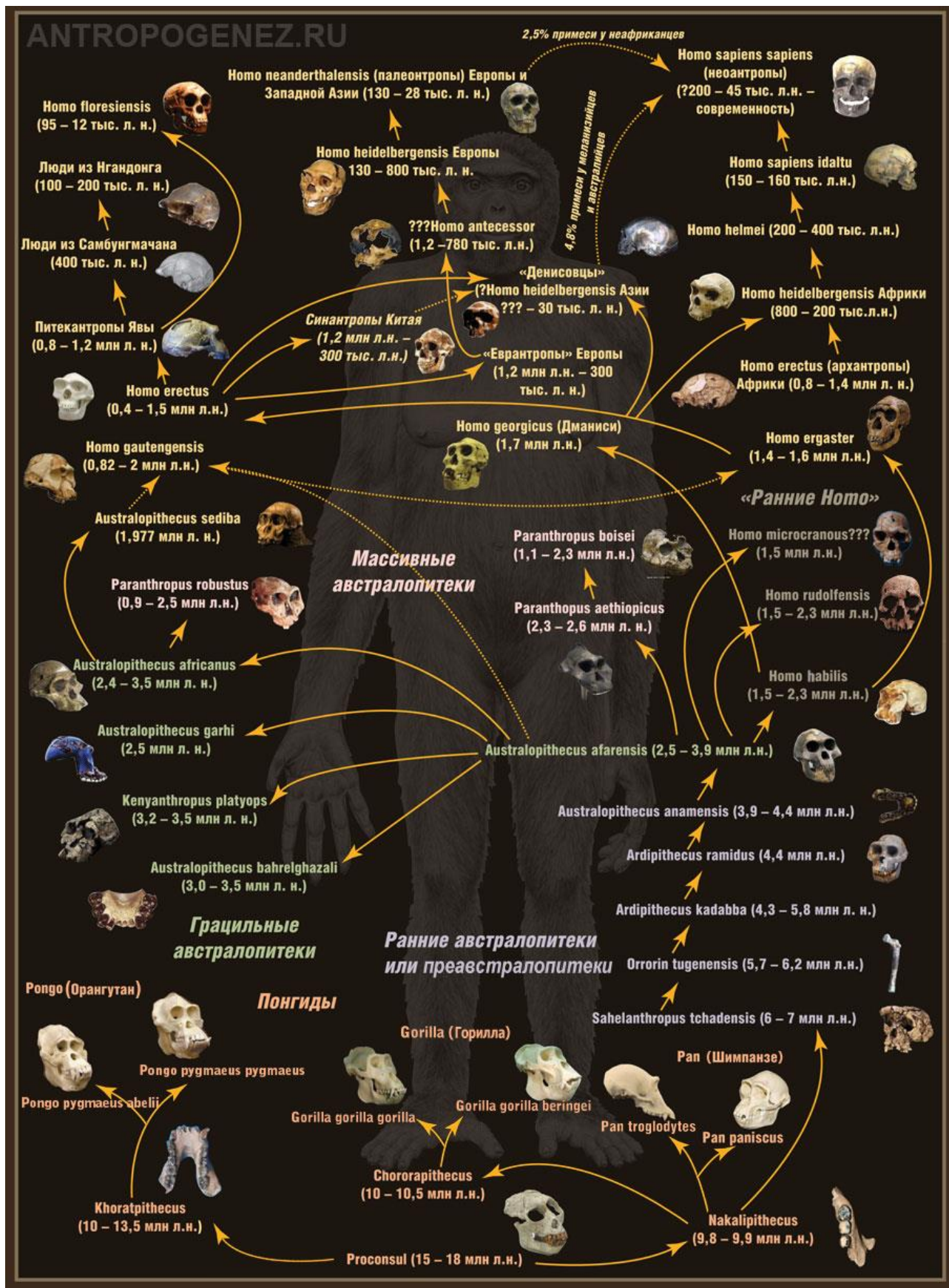


Рис. 24. Эволюционное древо человека

Другая ветвь – *наколитек* – жил 9,8 млн. лет назад. Это последний общий предок горилл, шимпанзе и гоминидной линии. Найден в Кении, только челюсти и фрагменты зубов и описан японской группой в 2007 году.

Далее следует группа ранних *австралопитеков*, которые уже отделились от ветви шимпанзе и относятся к гоминидам. В 2002 году был описан *сахилантроп*, это существо, жившее 7-6 млн. лет назад на территории современной республики Чад с признаками прямохождения. Считается самым древним человеческим предком. Следующие в списке ранних австралопитеков: *орроин* (человек тысячелетия), *ардипитек кадабда*, *ардипитек рамидус*, *австралопитек анаменсис* (анамский человек). Все эти существа были прямоходящие, но могли передвигаться и на четвереньках как гориллы и шимпанзе. Наиболее вероятным нашим предком является *австралопитек афаренсис* (афарский человек). Останки найдены в Хадаре в 1973-1977 годах. Существовал данный вид 4-2,5 млн. лет назад, он является прародителем ветви массивных австралопитеков и ветви хабилисов. *Ранние хомос* или по-другому *пропитекантропы* начинается с *хомо хабилиса* (человека умелого), жившего 2,3-1,5 млн. лет назад. Найден был в Кении и описан в 1964 году. Это первый предок, который стал заготавливать каменные орудия и перешел на всеядность. С него начинается стремительный рост размеров головного мозга. Т. о., одновременно существовали и развивались две независимые, хотя и родственные группы гоминид: массивные австралопитеки (тупиковая ветвь развития) и хабилисы (наши предки).

В 1891-1893 годах Э. Дюбоа во время раскопок в Индонезии обнаружил кости существ, названных впоследствии *питекантропами*. Сейчас известно несколько разновидностей этих существ, которые образуют форму человек прямоходящий – *хомо эректус* или *архантроп*. За время своего существования (2 млн. – 200 тыс. лет назад) они распространились не только по Африке, но и заселили всю Евразию. Поэтому найдено сразу несколько форм архантропов: европейские формы (*гейдельбергский человек*, живший 800-350 тыс. лет назад), *яванский человек* (700-30 тыс. лет назад), *китайский человек* или *синантроп*, останки которого найдены в 1923 году около Пекина датировкой 770 тыс. лет назад.

Также к европейским формам относят *грузинский человек*, найденный в Грузии, один из самых примитивных архантропов, которые появились в Европе. Мозг этих гоминид достигал 1200 см³ в объеме. В нем обнаружены участки, отвечающие за речь. Примерно 500 тыс. лет назад люди научились пользоваться огнем, носили шкуры зверей, изготавливали сложные орудия труда, участвовали в коллективной охоте и проводили первые обряды. К африканской форме человека прямоходящего относится *человек флоресский и родезийский человек*, которые вымерли только примерно 30-15 тыс. лет назад.

Около 300 тыс. лет назад появился современный тип человека – *хомо сапиенс*. Объем мозга у них соответствовал современному 1200-1600 см³. Они жили в постоянных сообществах, строили жилища, создавали более сложные орудия труда, хоронили мертвых. Известны 2 формы Сапиенсов: *неандертальцы* и *кроманьонцы*. Неандертальцы, или палеоантропы, были потомками европейских архантропов, отделенные от других сородичей оледенением. Впервые их останки найдены в долине Неандерталь в Германии. Они жили 200-25 тыс. лет назад по всей Центральной и Южной Европе, Северной Африке, Средней Азии. Рост 150-165 см, вес от 70 до 80 кг. Объем мозга неандертальцев превышал мозг современного человека в среднем на 20%. Создавали каменные ножи, сверла, костяные иглы и даже примитивные музыкальные инструменты, такие как флейта. В 90 гг. XX в. генетические исследования показали, что неандертальцы не были прямыми предками современного человека, а представляют лишь боковую, тупиковую ветвь гоминид. Соответственно считалось, что мы произошли только от кроманьонцев.

Современные исследования показывают, что у европейских людей обнаруживаются около 2% неандертальских генов, т. е. неандертальцы и кроманьонцы все-таки могли скрещиваться.

Долгое время предполагалось, что сапиенсы, наши непосредственные предки родом из Африки, истребили неандертальцев в конкурентной борьбе. Но сейчас появилась новая более правдоподобная версия о причинах вымирания неандертальцев в Европе. Возможно, это был климатический стресс, произошедший около 40 тыс. лет назад, так называемая «вулканическая зима».

Климатоформирующие по своей силе извержения, произошедшие в короткий геологический период на Апеннинах и на Кавказе, из-за поднявшегося вверх пепла привели в Северном полушарии к очень сильному похолоданию, по эффекту сопоставимому с «ядерной зимой». Эта катастрофа ударила по неандертальцам как напрямую, так и косвенно, вызвала в первую очередь массовую гибель животных, на которых неандертальцы охотились. Что явилось главной причиной вымирания неандертальцев на территории от Центральной Европы до Кавказа.

Однако людям нашим предкам сапиенсам повезло больше, так как в этот период они обитали в более южных широтах, преимущественно в Африке, и избежали прямых последствий катастрофы. Только когда в северных широтах климат стабилизировался, современный человек начал осваивать новые территории, освободившиеся от неандертальцев. Именно поэтому не наблюдается никакой преемственности культур.

Первый скелет первобытного человека современного вида был найден в 1823 году в Уэльсе, но наиболее известна другая находка 1968 года в пещере Кро-Маньон, поэтому таких людей называют *кроманьонцами* или *неоантропами*. Они являются достоверными предками всех ныне живущих людей и поэтому их останки находят по всему миру. Они создавали предметы первобытного искусства (бусы из ракушек или разрисованные кости и множество наскальных рисунков). Появились около 170 тыс. лет в Африке. 60 тыс. лет назад заселили Азию, 40 тыс. лет назад Европу, начиная с 35 тыс. лет назад заселяли Новую Гвинею, Австралию, а 15 тыс. лет назад из Сибири попали в Северную, а затем Южную Америку.

И все же не смотря на множество находок и успехов современной генетики, в истории появления и развития человечества по-прежнему остается множество нерешенных вопросов.

Вопросы и задания для контроля знаний по теме:

1. Что такое антропогенез? В чем заключается его отличие от эволюции других организмов?
2. Раскройте основные этапы антропогенеза.

3. Какие родственные связи объединяют людей и человекообразных обезьян?
Верно ли выражение: "Люди произошли от обезьян"? Ответ обоснуйте.
4. Какие изменения человеческого вида в будущем прогнозируют современные ученые?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Научно-образовательный портал: [электронный ресурс].
URL: <http://www.2fj.ru>;
2. Энциклопедический словарь естествознания: [электронный ресурс].
URL: <http://estestvoznanie.slovaronline.com>;
3. Теория относительности: [электронный ресурс] // И.В. Яковлев.
URL: <http://mathus.ru/phys/relativity.pdf>;
4. Библиотека юного исследователя: [электронный ресурс].
URL: <http://nplit.ru>;
5. Астрономическая российская сеть: [электронный ресурс].
URL: <http://astronet.ru>;
6. Астрономический портал: [электронный ресурс].
URL: <http://skywatching.net>;
7. Сайт естественных наук: [электронный ресурс]. URL: <http://estnauki.ru>;
8. Химический портал: [электронный ресурс]. URL: <http://www.chemport.ru>;
9. Это физика!: [электронный ресурс]. URL: <http://www.its-physics.org>;
10. Ядерная физика в интернете: [электронный ресурс].
URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru>.
11. Научно-информационный журнал Биофайл: [электронный ресурс]. URL:
<http://biofile.ru>;
12. Физика, химия, математика студентам и школьникам: [электронный
ресурс]. URL: <http://www.ph4s.ru>;
13. Астрогалактика: [электронный ресурс]. URL: <http://www.astrogalaxy.ru>;
14. Синергетика, нелинейная динамика и междисциплинарные исследования
: [электронный ресурс]. URL: <http://nonlin.ru>;
15. Международная общественная организация «Наука и техника»:
[электронный ресурс]. URL: <http://n-t.ru>;
16. Физика: [электронный ресурс]. URL: <http://www.physics.ru>.

17. Универсальная научно-популярная онлайн- энциклопедия Кругосвет:
[электронный ресурс]. URL: <http://www.krugosvet.ru>;
18. Библиотека по палеонтологии: [электронный ресурс] .
URL: <http://paleontologylib.ru>;
19. Научно-познавательный блог о Земле: [электронный ресурс].
URL: <http://o-planete.ru>;
20. Научно-просветительский портал Антропогенез.ру: [электронный
ресурс]. URL: <http://antropogenez.ru>;
21. Проблемы эволюции: [электронный ресурс]. URL: <http://www.evolbiol.ru>;
22. Биологический портал Биофак: [электронный ресурс].
URL: <http://www.bio-faq.ru>;
23. Викинаука: [электронный ресурс]. URL: <http://ru.science.wikia.com>.